

**In-vitro-Studie zur antibakteriellen Wirkung von Adhäsiva  
im Dentin-Agar-Hemmhoftest**

**D I S S E R T A T I O N**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor medicinae dentariae  
(Dr. med. dent.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von  
Friederike Wachall  
geboren am 27.07.1983 in Ilmenau

Jena 2009

#### Gutachter

1. Herr Univ.-Prof. Dr. med. dent. Harald Küpper, Jena
2. Frau Prof. Dr. rer. nat. habil. Susanne Kneist, Jena
3. Herr Prof. Dr. med. dent. Hans-Günter Schaller, Halle

Tag der öffentlichen Verteidigung: 07. September 2010

## INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

		Seite
1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	3
3	Zielstellung	14
4	Material und Methoden	15
4.1	In die Untersuchung einbezogene Adhäsivsysteme	15
4.2	In die Untersuchung einbezogene Bakterienstämme	17
4.3	Aufbereitung humaner Dentinscheiben	18
4.4	Versuchsablauf	19
4.5	Langzeitversuch	20
4.6	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung	20
4.7	Statistische Auswertung	21
5	Ergebnisse	22
5.1	Antibakterielle Wirkung der selbstätzenden Adhäsiva im Dentin-Agar-Hemmhoftest	23
5.2	Antibakterielle Wirkung der totalätzenden Adhäsiva im Dentin-Agar-Hemmhoftest	24
5.3	Langzeit-Dentin-Agar-Hemmhoftest	27
5.4	Rasterelektronenmikroskopische Betrachtung ausgewählter Adhäsiva	29
6	Diskussion	31
7	Schlussfolgerung	46
8	Literaturverzeichnis	47
9	Anhang	56
	Tabellen und Abbildungen	
	Danksagung	
	Ehrenwörtliche Erklärung	
	Lebenslauf	

## **Abkürzungsverzeichnis**

4-META	4-Methacryloxyethyl-trimellitat-anhydrid
A	Actinomyces
ADA	American Dental Association
Bis-GMA	Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat
ca.	circa
DGZ	Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Fa.	Firma
Gew.-%	Gewichtsprozent
HEMA	2-Hydroxyethylmethacrylat
L	Lactobacillus
LED	Light Emitting Diodes
MDP	10-Methacryloyloxydecyldihydrogenphosphat
MDPB	Methacryloyloxydodecylpyridiniumbromid
NaCl	Natriumchlorid
nd	nicht durchgeführt
ns	nicht signifikant
s	signifikant
S	Streptococcus
TEGDMA	Triethylenglycoldimethacrylat
UDMA	Urethandimethacrylat
Vol.-%	Volumenprozent
$\Sigma$	Summe

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
<b>Abbildung 1:</b>	18
Microbank™ (links) mit Keramikperlen (rechts) zur Haltung von Bakterienstämmen	
<b>Abbildung 2:</b>	19
(A) Herstellung der Dentinscheiben (Dicke 0,7 bis 0,8 mm mittlerer Ø 10,8 mm) mit dem EXAKT-Trennschleifsystem 300 CP (Fa. EXAKT Apparatebau GmbH, Nordstedt, BRD), (B) autoklavierte Dentinscheiben, (C) ölfreier Luftstrom zum Verblasen der Adhäsivschicht nach Beschichtung, (D) Polymerisation eines Adhäsivsystems mit der LED-Lampe Free Light 2 (3M ESPE), (E) aseptische Aufbewahrung der Dentinscheiben zwischen den Arbeitsschritten, (F) antibakterielle Wirkung von Clearfil Protect Bond gegenüber Actinomyces naeslundii im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	
<b>Abbildung 3:</b>	24
Mittlere Hemmhofdurchmesser (mm) selbstätzender Adhäsiva nach Polymerisation im Dentin-Agar-Hemmhoftest gegenüber Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten	
<b>Abbildung 4:</b>	25
Mittlere Hemmhofdurchmesser (mm) totalätzender Adhäsiva nach Polymerisation im Dentin-Agar-Hemmhoftest gegenüber Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten	
<b>Abbildung 5:</b>	30
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen bei 800-facher (A, E, F) und 3000-facher (B, C, D) Vergrößerung des selbstätzenden Adhäsivsystems AdheSE und des totalätzenden Adhäsivsystems Syntac Classic (beide Vivadent Ivoclar): (A) ungeätzte Dentinscheibe, (B) selbstätzendes Adhäsiv AdheSE mit gebildeter Hybridschicht (Hy) und Tag (*), (C) geätzte Dentinscheibe mit freigelegtem Kollagennetzwerk und Dentintubuli, (D) totalätzendes Adhäsiv Syntac Classic mit gebildeter Hybridschicht (Hy) und Tag (*), Oberflächenaufnahme der polymerisierten Adhäsiva AdheSE (E) und Syntac Classic (F)	

## Abbildungen im Anhang

<b>Abbildung 1:</b>	Antibakterielle Wirkung von artCem One (Merz Dental) gegenüber <i>L. plantarum</i> DSMZ 2601, <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>S. mutans</i> NCTC 10449, <i>S. sobrinus</i> OMZ 176, <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S und <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	71
<b>Abbildung 1a:</b>	Antibakterielle Wirkung von artCem One (Merz Dental) gegenüber <i>A. israelii</i> IMET 10972 und <i>A. odontolyticus</i> R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	72
<b>Abbildung 2:</b>	Antibakterielle Wirkung von Adper Prompt L-Pop (3M Espe) gegenüber <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S, <i>S. mutans</i> NCTC 10449 und <i>S. sobrinus</i> OMZ 176 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	73
<b>Abbildung 3:</b>	Antibakterielle Wirkung von G-Bond (GC EUROPE N.V.) gegenüber <i>L. plantarum</i> DSMZ 2601, <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001, <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>S. mutans</i> NCTC 10449 und <i>S. sobrinus</i> OMZ 176 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	74
<b>Abbildung 4:</b>	Antibakterielle Wirkung von iBond (Heraeus Kulzer) gegenüber <i>L. plantarum</i> DSMZ 2601, <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001, <i>S. mutans</i> NCTC 10449, <i>S. sobrinus</i> OMZ 176 und <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	75
<b>Abbildung 4a:</b>	Antibakterielle Wirkung von iBond (Heraeus Kulzer) gegenüber <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044, <i>A. israelii</i> IMET 10972 und <i>A. odontolyticus</i> R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	76
<b>Abbildung 5:</b>	Antibakterielle Wirkung von Xeno III (Dentsply) gegenüber <i>L. plantarum</i> DSMZ 2601, <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001, <i>S. mutans</i> NCTC 10449, <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 und <i>A. odontolyticus</i> R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	77
<b>Abbildung 6:</b>	Antibakterielle Wirkung von Clearfil Protect Bond (Kuraray Europe) gegenüber <i>L. plantarum</i> DSMZ 2601, <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001, <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044, <i>A. israelii</i> IMET 10972 und <i>A. odontolyticus</i> R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	78
<b>Abbildung 6a:</b>	Antibakterielle Wirkung von Clearfil Protect Bond (Kuraray Europe) gegenüber <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S, <i>S. sobrinus</i> OMZ 176 und <i>S. mutans</i> NCTC 10449 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	79
<b>Abbildung 7:</b>	Antibakterielle Wirkung von Clearfil SE Bond (Kuraray Europe) gegenüber <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001, <i>L. plantarum</i> DSMZ 2601, <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S und <i>S. sobrinus</i> OMZ 176 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	80

<b>Abbildung 8:</b>	Antibakterielle Wirkung von go (SDI Southern Dental) gegenüber <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 und <i>S. mutans</i> NCTC 10449 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	81
<b>Abbildung 9:</b>	Antibakterielle Wirkung von One Coat Self-Etching (Colténe Whaledent) gegenüber <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001 und <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	81
<b>Abbildung 10:</b>	Antibakterielle Wirkung von Resulcin AquaPrime + MonoBond (Merz Dental) gegenüber <i>S. mutans</i> NCTC 10449, <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001, <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 und <i>A. israelii</i> IMET 10972 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	82
<b>Abbildung 11:</b>	Antibakterielle Wirkung von Clearfil Liner Bond 2V (Kuraray Europe) gegenüber <i>L. plantarum</i> DSMZ 2601, <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001, <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>S. mutans</i> NCTC 10449 und <i>S. sobrinus</i> OMZ 176 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	83
<b>Abbildung 11a:</b>	Antibakterielle Wirkung von Clearfil Liner Bond 2V (Kuraray Europe) gegenüber <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 und <i>A. israelii</i> IMET 10972 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	84
<b>Abbildung 12:</b>	Antibakterielle Wirkung von OptiBond Solo Plus (Kerr) gegenüber <i>L. casei</i> IMET 10692 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	84
<b>Abbildung 13:</b>	Antibakterielle Wirkung von Admira Bond (VOCO GmbH) gegenüber <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044, <i>L. casei</i> IMET 10692 und <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	85
<b>Abbildung 14:</b>	Antibakterielle Wirkung von Clearfil New Bond (Kuraray Europe) gegenüber <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 und <i>A. odontolyticus</i> R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	86
<b>Abbildung 15:</b>	Antibakterielle Wirkung von Clearfil Photo Bond (Kuraray Europe) gegenüber <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>S. sobrinus</i> OMZ 176 und <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	87
<b>Abbildung 16:</b>	Antibakterielle Wirkung von Cumdente Adhesive (Cumdente) gegenüber <i>A. odontolyticus</i> R22/580, <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001, <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>S. mutans</i> NCTC 10449, <i>S. sobrinus</i> OMZ 176 und <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	88
<b>Abbildung 16a:</b>	Antibakterielle Wirkung von Cumdente Adhesive (Cumdente) gegenüber <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 und <i>A. israelii</i> IMET 10972 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	89

<b>Abbildung 17:</b>	Antibakterielle Wirkung von Gluma Solid Bond (Heraeus Kulzer) gegenüber <i>A. odontolyticus</i> R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	89
<b>Abbildung 18:</b>	Antibakterielle Wirkung von Gluma Comfort Bond (Heraeus Kulzer) gegenüber <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>A. odontolyticus</i> R22/580 und <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	90
<b>Abbildung 19:</b>	Antibakterielle Wirkung von Ecusit-Primer Mono (DMG GmbH) gegenüber <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	90
<b>Abbildung 20:</b>	Antibakterielle Wirkung von Syntac Classic (Ivoclar Vivadent) gegenüber <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S, <i>S. sobrinus</i> OMZ 176, <i>S. mutans</i> NCTC 10449, <i>A. israelii</i> IMET 10972, <i>A. odontolyticus</i> R22/580 und <i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung	91



## **Tabellenverzeichnis**

	Seite
<b>Tabelle 1:</b>	Grundmuster des geätzten Schmelzes 4
<b>Tabelle 2:</b>	Zeitfolge der jeweils ersten Dentinadhäsiva von sieben Generationen in der Übersicht 10
<b>Tabelle 3:</b>	Hauptgruppen und Untergruppen der Adhäsivsysteme 15
<b>Tabelle 4:</b>	In den Dentin-Agar-Hemmhoftest einbezogene Adhäsiva 16
<b>Tabelle 5:</b>	Ausgewählte Indikatorstämme 17
<b>Tabelle 6:</b>	Ausgewählte Adhäsiva zur rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung 21
<b>Tabelle 7:</b>	Wachstumshemmung (in mm) durch 1%iges Chlorhexidin, physiologische Kochsalzlösung (NaCl) und 37%ige Phosphorsäure (nach Abspülung) auf Papierplättchen (PP) bzw. Dentinscheiben (DS) 22
<b>Tabelle 8:</b>	Antibakterielle Wirkung selbstätzender Adhäsiva nach Polymerisation im Dentin-Agar-Hemmhoftest gegenüber Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten in der Übersicht 23
<b>Tabelle 9:</b>	Antibakterielle Wirkung totalätzender Adhäsiva nach Polymerisation im Dentin-Agar-Hemmhoftest gegenüber Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten in der Übersicht 26
<b>Tabelle 10:</b>	Mittlere Hemmhofgröße (in mm) der polymerisierten selbstätzenden und totalätzenden Adhäsiva im Dentin-Agar-Hemmhoftest 27
<b>Tabelle 11:</b>	Antibakterielle Langzeitwirkung selbstätzender Adhäsiva 28
<b>Tabelle 12:</b>	Antibakterielle Langzeitwirkung totalätzender Adhäsiva 29
<b>Tabelle 13:</b>	Zeitliche Übersicht von Studien zur antibakteriellen Wirkung von Dentinadhäsivsystemen bei Verwendung unterschiedlicher Testmethoden und Indikatorstämme (in Klammern: Anzahl der Adhäsivsysteme/Anzahl der Indikatorstämme) 32
<b>Tabelle 14:</b>	Verwendete Indikatorstämme zur Überprüfung der antibakteriellen Wirkung von Dentinadhäsivsystemen 37
<b>Tabelle 15:</b>	Multizentrische Überprüfung der antibakteriellen Wirkung von Dentinadhäsiva 38

## **Tabellen im Anhang**

<b>Tabelle 1:</b>	Batch-Nummern und Verfallsdatum der getesteten Adhäsiva	57
<b>Tabelle 2:</b>	In den Dentin-Agar-Hemmhoftest einbezogene Adhäsiva und Herstellerangaben zur Anwendung	58
<b>Tabelle 3:</b>	Antibakteriell wirkende Adhäsiva und ihre Inhaltsstoffe (* mit Langzeitwirkung)	61
<b>Tabelle 4:</b>	In den Dentin-Agar-Hemmhoftest einbezogene Adhäsiva ohne antibakterielle Wirkung und ihre Inhaltsstoffe	63
<b>Tabelle 5:</b>	Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von Streptokokken ( <i>S. mutans</i> NCTC 10449, <i>S. sobrinus</i> OMZ 176, <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter selbstätzender Adhäsiva	65
<b>Tabelle 6:</b>	Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von Laktobazillen ( <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001, <i>L. plantarum</i> DSMZ 2601) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter selbstätzender Adhäsiva	66
<b>Tabelle 7:</b>	Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von Aktinomyzeten ( <i>A. odontolyticus</i> R22/580, <i>A. israelii</i> IMET 10972, <i>A. naeslundii</i> ATCC 2744) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter selbstätzender Adhäsiva	67
<b>Tabelle 8:</b>	Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von Streptokokken ( <i>S. mutans</i> NCTC 10449, <i>S. sobrinus</i> OMZ 176, <i>S. sanguinis</i> OMZ 9S) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter totalätzender Adhäsiva	68
<b>Tabelle 9:</b>	Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von Laktobazillen ( <i>L. casei</i> IMET 10692, <i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001, <i>L. plantarum</i> DSMZ 2601) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter totalätzender Adhäsiva	69
<b>Tabelle 10:</b>	Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von Aktinomyzeten ( <i>A. odontolyticus</i> R22/580, <i>A. israelii</i> IMET 10972, <i>A. naeslundii</i> ATCC 2744) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter totalätzender Adhäsiva	70

## 1 Zusammenfassung

Mit Einführung der Komposite (1954) und der Entwicklung der Adhäsivtechnik (1955) wurden neue Perspektiven für die Zahnmedizin eröffnet. Die Möglichkeit, Restaurationsmaterialien an die Restzahnhartsubstanz im Frontzahnggebiet und später auch im Seitenzahnggebiet zu kleben, gewann durch die minimalinvasive Präparation und durch die ästhetische Farbgebung immer mehr Zuspruch. Des Weiteren hat auch die Amalgamdiskussion in den vergangenen 15 Jahren zu einem enormen Zuwachs an zahnfarbenen Restaurationen beigetragen. Verbunden damit war eine direkt proportionale Nachfrage nach Dentinadhäsivsystemen. Die Entwicklung neuer Adhäsiva steht im Zeichen der verbesserten Haftung am Dentin, sowie der Vereinfachung der Applikation und Verminderung der Arbeitsschritte (Haller und Blunck 2003).

Ziel der vorliegenden Studie war es, in vitro der möglichen antibakteriellen Wirkung von 38 am häufigsten verkauften selbstätzenden ( $n = 18$ ) und totalätzenden ( $n = 20$ ) Dentinadhäsiva gegenüber oralen Keimen, die bevorzugt am harten Kavitätenboden restieren, nachzugehen.

Neun Referenzstämme (*S. mutans*, *S. sanguinis*, *S. sobrinus*, *L. casei*, *L. coryniformis*, *L. plantarum*, *A. israelii*, *A. naeslundii* und *A. odontolyticus*) wurden in die Untersuchung einbezogen. Über 700 sterile humane Dentinscheiben (Dicke 0,7 mm bis 0,8 mm, mittlerer Durchmesser von 10,8 mm) wurden von ca. 350 kariesfreien Molaren gewonnen. Die ausgewählten Adhäsiva wurden auf die Dentinscheiben aufgebracht und nach Herstellerangaben polymerisiert (Free Light 2, 3M Espe). Mit den Dentinscheiben sollte die Dentinbarriere, die unter klinischen Bedingungen vorliegt, simuliert werden. Unter aseptischen Bedingungen wurden die Dentinscheiben auf die mit den Bakterienstämmen inokulierte Agaroberfläche aufgelegt und nach Bebrütung die antibakterielle Wirkung der Adhäsiva im Bakterienrasen metrisch erfasst.

Insgesamt erwiesen sich 21 Produkte als antibakteriell. Aus der Gruppe der selbstätzenden Adhäsiva, hatten 12 Adhäsivsysteme eine antibakterielle Wirkung. artCem One (Merz Dental), iBond (Heraeus Kulzer), Xeno III (Dentsply), Clearfil Liner Bond 2V (lichthärtend), Clearfil Protect Bond (beides Kuraray Europe) und Resulcin AquaPrime+MonoBond (Merz Dental) inhibierten alle Referenzstämme und Adper Prompt L-Pop (3M Espe), G-Bond (GC EUROPE N.V.), Clearfil SE Bond (Kuraray Europe),

go (SDI Southern Dental), Futurabond DC (VOCO GmbH) und One Coat Self-Etching (Coltène® Whaledent) hingegen nur einzelne Referenzstämmen in ihrem Wachstum.

Neun der totalätzenden Dentinadhäsiva – darunter Admira Bond (VOCO GmbH), Clearfil Photo Bond (Kuraray Europe) und Cumdente Adhesive (Cumdente) – führten zur Hemmhofausbildung bei allen Referenzstämmen und Clearfil New Bond (Kuraray Europe), Gluma Comfort Bond, Gluma Solid Bond (beides Heraeus Kulzer), OptiBond Solo Plus (Kerr), Ecusit (DMG GmbH) und Syntac Classic (Ivoclar Vivadent) hemmten einzelne Stämme in ihrem Wachstum. Insgesamt wurden in 16 Fällen Streptokokken und Aktinomyzeten im Wachstum unterdrückt und in 15 Fällen Laktobazillen. Aktinomyzeten waren am stärksten betroffen.

Im Langzeittest wurde eine antibakterielle Wirkung von 10 Dentinadhäsiva gegenüber einzelner Indikatorstämmen registriert. Von den selbstätzenden Adhäsiva blieb die antibakterielle Wirkung von One-Coat Self-Etching bis zum 2. Tag, von artCem One und iBond bis zum 4. Tag und von Xeno III bis zum 6. Tag bestehen. Clearfil Protect Bond inhibierte *S. mutans*, *L. casei* und *A. naeslundii* bis zur 7. Woche.

Von den totalätzenden Adhäsiva wurde bei Gluma Comfort Bond bis zum 2. Tag, bei Clearfil New Bond, Clearfil Photo Bond, Gluma Comfort Bond und Syntac Classic lediglich bis zu 4 Tagen eine antibakterielle Wirkung gegenüber Aktinomyzeten registriert. Streptokokken wurden allein von Syntac Classic bis zum 4. Tag inhibiert. Laktobazillen wurden insgesamt deutlich schwächer gehemmt.

Die Studie ermöglicht einen Überblick über eine Vielzahl von Adhäsivsystemen, von denen eine antibakterielle Wirkung ausgeht. Bisherige Studien können nur zu einem geringen Teil die in dieser Arbeit registrierten Ergebnisse bestätigen, da eine solche Vielzahl von Produkten bislang nicht getestet wurde.

Dennoch sollte nicht allein die antimikrobielle Wirkung bei der Auswahl der Adhäsiva eine Rolle spielen. Viele Faktoren, wie Hafthalt, Schrumpfungseigenschaft, vereinfachte Anwendung und Verminderung der Applikationsdauer, sowie Einsatzort, sollten für den Anwender bei der Auswahl von Adhäsivsystemen relevant sein. Eine über Inhaltstoffe ausgehende antibakterielle Wirkung könnte aber einer Sekundärkaries und Pulpaentzündungen vorbeugen. Der Leser findet in dieser Arbeit einen Überblick zur antibakteriellen Wirkung von Adhäsivsystemen als Entscheidungshilfe bei der Auswahl der Präparate.

## 2 Einleitung

*Adhäsive Zahnmedizin:* Die in den 1980er bis 1990er Jahren begonnene Amalgamdiskussion beeinflusste den rasanten Einzug zahnfarbener Restaurationsmaterialien und deren Produkte in die restaurative Zahnheilkunde; dies auch unter ästhetischem Blickwinkel. Die adhäsive (lat. klebende) Füllungstherapie ist in der heutigen Praxis im Front- und Seitenzahngebiet eine etablierte Methode. Die Kariesexkavation erfolgt nach streng minimal-invasivem, bedarfs- und defektorientiertem Konzept mit dem Ziel der maximalen Substanzschonung. Das Präparationspostulat „Extension for Prevention“ von Black (1836-1915) ist heute überholt (Black 1914).

In einer Stellungnahme von 2005 haben die Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) und die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) eine Erweiterung der Indikation für Kompositrestaurationen vorgenommen. Nach dem Wissensstand von 1999 besteht die Indikation für Fissurenversiegelung, erweiterte Fissurenversiegelung, Primärversorgung von Klasse-I- und -II-Kavitäten (ohne Ersatz von Höckern), Klasse-V-Kavitäten und Füllungen bei Patienten mit einer Allergie gegen Metalllegierungen. Nach der aktuellsten Stellungnahme der DGZMK von 2005 können Kompositfüllungen durch verbesserte stabilere Kompositmaterialien zusätzlich auch bei großen Defekten der Klasse-I- und -II-Kavitäten einschließlich Höckerersatz verwendet werden (Heidemann et al. 2003, Hickel et al. 2005).

Die erforderliche Adhäsion – folglich das Haften von eng aneinander liegenden Materialien – zwischen den Zahnhartgeweben und dem Füllungsmaterial wird durch Haftvermittler (sogenannte Adhäsivsysteme, Bondingsysteme oder Dentinadhäsiva) gewährleistet. In diesem Bereich erfolgte in den letzten 20 Jahren eine rasante Entwicklung, wobei eine kaum mehr überschaubare Anzahl von Produkten erhältlich ist. Die Nachfrage tendiert gegenwärtig bei der Vielzahl von Produkten zur Vereinfachung der Anwendung der Bondingsysteme und Herabsetzung der Arbeitsschritte (Haller und Blunck 2003). Gleich bleiben jedoch die unterschiedlichen Arbeitsschritte an den Zahnhartsubstanzen auf Grund deren Eigenschaften.

*Anwendertechnische Grundlagen am Schmelz:* Schmelz besteht zu über 93 Gew.-% aus anorganischen Verbindungen, wobei Phosphor und Kalzium als Hydroxylapatitverbindung in Form kleiner Kristalle vorliegen (Hellwig et al. 2003).

Die sogenannten Schmelzprismen werden aus 100 solchen Schmelzkristallen gebildet. In kleinen Mengen befinden sich neben Wasser auch organische Bestandteile, wie Proteine und Lipide in der Schmelzschicht (Hellwig et al. 2003).

Buonocore legte 1955 mit der Einführung der Schmelz-Ätz-Technik den Grundstein für den adhäsiven Verbund zwischen Schmelz und Kunststoff (Buonocore 1955). Bei der sogenannten Schmelzkonditionierung wird durch das Auftragen von zumeist 35- bis 40%iger Phosphorsäure eine Umgestaltung der Schmelzoberfläche in einem Bereich von 5 bis 10 µm erreicht und die Prismenstruktur bis zu 15 µm freigelegt (van Meerbeek et al. 1992, Wollmarker 1999, Manhart 2000). Dadurch entsteht ein retentives Ätzmuster (Buonocore 1955, Lösche und Blunck 1988). Auf Grund der unterschiedlichen Säurelöslichkeit innerhalb der Hydroxylapatitkristalle im Schmelzprisma können drei Grundmuster (Tab. 1) des geätzten Schmelzes lichtmikroskopisch unterschieden werden (Retief 1992, Manhart 2000, Blunck 2004).

**Tabelle 1:** Grundmuster des geätzten Schmelzes

<b>Ätzmuster Typ 1</b>	Prismenkerne herausgelöst unter Erhalt der Peripherie
<b>Ätzmuster Typ 2</b>	Prismenkerne bleiben weitgehend intakt und die Peripherie wird aufgelöst
<b>Ätzmuster Typ 3</b>	Oberflächlicher Abtrag ohne klare retentive Strukturen

Am häufigsten werden Prismenkerne herausgelöst, während die Peripherie weitgehend erhalten bleibt (Typ 1). Im Gegensatz dazu zeigt das Ätzmuster vom Typ 2 eine weitgehende Auflösung der Peripherie bei Strukturbeibehaltung der Zentren. Bei Typ 3 kommt es lediglich zu einem oberflächlichen Abtrag ohne klare Retentionsausbildung. Letzeres Ätzmuster hat die ungünstigste Voraussetzung für die mikromechanische Retention. Bekanntermaßen sollten Mikroporositäten und raue Oberflächen genutzt werden, um die Verankerung des Füllungswerkstoffes zu gewährleisten, wie es bei dem am häufigsten anhand lichtmikroskopischer Untersuchungen vorkommenden Ätzmuster vom Typ 1 vorliegt (Manhart 2000). Die Art der Prismenauflösung läßt sich jedoch nicht klinisch beeinflussen. Die Ätzwirkung ist abhängig von der Art der Vorbehandlung des Schmelzes mit Instrumenten, vom Fluoridgehalt und vom prismatischen (bleibender Zahn) oder aprismatischen (Milchzahn) Charakter des Zahntypus. Durch den Ätzworgang, der innerhalb von 20 bis 60 Sekunden zu erfolgen hat, wird die Oberflächenenergie des Schmelzes erhöht und die Benetzbarkeit nach

Trocknung stark verbessert (Jendresen et al. 1981). Die applizierte Phosphorsäure wird durch starken, forcierten Wasserstrahl mit den entstandenen Präzipitaten für eine Mindestdauer von 15 Sekunden entfernt. Das deutlich weiß-opake Ätzmuster muss von Speichel, Blut und Sulkusfluid frei bleiben, um die Benetzbarkeit zu behalten. Die niedrig-visköse Monomermischung der Dentinadhäsiva kann folgend in das geschaffene Ätzmuster eindringen und nach Polymerisation durch mikromechanische Verankerung die Verbindung zum Kunststoff aufbauen (Manhart 2000).

*Anwendertechnische Grundlagen am Dentin:* Während die mikromechanische Verankerung zwischen Zahnhartsubstanz und Komposit im Schmelzbereich seit 50 Jahren klinisch bewährt und leicht zu erzielen ist, wurden erst in den letzten 20 Jahren Fortschritte für eine effektive und stabile Verankerung am Dentin erzielt (Haller 1997). Aufgrund der komplexeren Histologie und struktureller Unterschiede gestaltet sich dies wesentlich diffiziler.

Der menschliche Zahn besteht zum größten Teil aus Dentin. Im Vergleich zum Schmelz ist Dentin ein vitales und weniger stark mineralisiertes Gewebe (Schäfer 1999a, Haller 2000). Nach Schroeder (1992) besteht das Dentin zu 45 Vol.-% aus anorganischer Hartsubstanz, zu 30 Vol.-% aus organischen Bestandteilen sowie zu 25 Vol.-% aus Wasser. Bei den anorganischen Bestandteilen handelt es sich um zufällig dicht gepackte Hydroxylapatitkristalle, die nicht in Prismenform im Dentin verteilt sind (Hellwig et al. 2003). Die organische Matrix besteht zu 90% aus Kollagen und kollagenartigen Verbindungen (Hellwig et al. 2003). Ein wichtiges Strukturmerkmal des Dentins sind die von der Schmelz-Dentin-Grenze Richtung Pulpa verlaufenden Dentinkanälchen (lat. Dentintubuli). Diese enthalten Odontoblastenfortsätze sowie Dentinliquit und bilden die Verbindung zur Pulpa. Abhängig vom Alter des Zahnes kann im pulpanahen Dentin eine Anzahl der Dentintubuli von etwa 50.000 bis 70.000 pro  $\text{mm}^2$  mit einer durchschnittlichen Größe von 2,5 bis 4  $\mu\text{m}$  vorgefunden werden (Garberoglio und Brännström 1976). Im Bereich der pulpenfernen Schmelz-Dentin-Grenze sind es lediglich etwa 20.000 Dentinkanälchen pro  $\text{mm}^2$  mit einem Durchmesser von 0,8  $\mu\text{m}$  (Schroeder 1992). Der in den Dentinkanälchen befindliche Dentinliquit ist eine extrazelluläre Flüssigkeit aus der Pulpa (Pashley et al. 1981). Demzufolge ist das Dentin hydrophil und ein inniger Kontakt zu chemisch hydrophoben Materialien, wie Adhäsiva oder Kunststoff, kann nicht

eingegangen werden (Haller 1997, Schäfer 1999a, Haller 2000, Manhart 2000, Haller und Blunck 2003, Blunck 2004, 2007).

Ein weiteres Problem für die Gewährleistung des adhäsiven Verbundes ist die nach der mechanischen Bearbeitung entstandene Schmierschicht. Diese Schicht wurde nach rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von Eick erstmalig 1970 beschrieben. Diese 0,5 bis 5  $\mu\text{m}$  dicke Auflagerung (Eick et al. 1970, Pashley 1984) besteht aus Kollagen-, Hydroxylapatittrümmern, zerstörten Mikroorganismen und Odontoblasten sowie Dentinliquor, die die Dentinoberfläche überzieht und die Dentinkanälchen bis zu einer Tiefe von 2 bis 6  $\mu\text{m}$  verschließt (Haller 2000, Manhart 2000). Um die Benetzung des Dentins zu gewährleisten, muss dieser natürliche „Wundverband“ entfernt bzw. umgestaltet werden. Der zunächst positive Effekt der Verminderung der Dentinpermeabilität durch die Schmierschicht wird nach ihrer Entfernung um das 5- bis 20-fache erhöht (Pashley 1984). Dieser Arbeitsschritt, der zum Standard der effektiven Adhäsivsysteme gehört, gelingt nach Haller und Blunck (2003) und Blunck (2004, 2007) auf zwei Wegen:

1. Unter Verwendung von 35- bis 40%iger Phosphorsäure, im Sinne der Total-Ätz-Technik.
2. Unter Verwendung von saurer Primer-Monomer-Lösung, im Sinne der Modifizierung bzw. des Erhaltes der Schmierschicht.

Zur chemischen Vorbehandlung der Zahnhartsubstanzen wird ein sogenannter Konditionierer benötigt. Im Rahmen der Total-Ätz-Technik werden Schmelz und Dentin in einem Schritt mit 35- bis 40%iger Phosphorsäure benetzt. Dabei werden die Tubulieingänge und das kollagene Fasergeflecht bis zu 15  $\mu\text{m}$  tief freigelegt (Wollmarker 1999). Auf dem Dentin darf die Säure jedoch nur für maximal 20 Sekunden einwirken und muss anschließend abgesprüht werden (Ernst 2001, Haller und Blunck 2003, Blunck 2004). Bei längerer Einwirkzeit kommt es zur Schädigung des Kollagennetzwerkes durch Überätzung und zu einer Beeinträchtigung des adhäsiven Verbundes (Manhart 2000). In das entstandene Kollagennetzwerk können anschließend Primer, bestehend aus kurzkettigen amphiphilen Monomeren, eindringen und die kollagenen Fasern imprägnieren (Haller 2000). Diese Bestandteile des Primers sind in der Regel in Lösungsmitteln wie Wasser, Alkohol oder Aceton gelöst, um niedrig-viskos zu bleiben (Schäfer 1999b, Ernst 2001). Amphiphile Primer müssen die Fähigkeit besitzen, in dem entstandenen Kollagengeflecht durch ihre polaren Gruppen in die Tiefe des feuchten Dentins zu diffundieren und gleichzeitig über apolare



Gruppen eine Anbindung zum hydrophoberen Adhäsiv zu gewährleisten (Haller 1997, Ernst 2001). Nach dem Verdunsten des Lösungsmittels bleibt der Primer als polares, bifunktionelles Agens auf dem Dentin zurück. Mittels niedriger pH-Werte in Form von sauren Primerlösungen wird bei der zweiten Variante die Dentinoberfläche bis zu einer Tiefe von ca. 7,5 µm demineralisiert (van Meerbeek et al. 1992, 1993). Der Vorteil dieser Anwendung besteht darin, dem Kollabieren des Geflechts durch übermäßige Trocknung nach Phosphorsäureanwendung entgegenzuwirken. Als Nachteil könnte das Zurückbleiben von Bakterien in der belassenen Schmierschicht gesehen werden, die bei Überleben eine Sekundärkaries auslösen können (Lutz et al. 1993, Kenshima et al. 2006).

Das Adhäsiv als folgende Komponente wird auch als Bond oder Bonding bezeichnet. Die Monomerflüssigkeit ist der eigentliche Haftvermittler (Haller 1997). Durch das hydrophobe Ende des Primers, das eine oder mehrere Methacrylatgruppen trägt, ist eine Copolymerisation mit dem hydrophoben Adhäsiv gegeben.

Die Formel M-R-X kann die Wirkweise des Haftvermittlers darstellen (Heitland 2006). Dabei steht M für die Methacrylatgruppe, R für Distanzhalter und X für die funktionelle Gruppe, die die Verbindung zum Dentin herstellt. Zum einen kann die funktionelle Gruppe als Phosphatester mit dem Kalzium des Hydroxylapatits reagieren und zum anderen mit den Amino- bzw. Hydroxylgruppen der organischen Hartschicht, dem Kollagen des Dentins (Heitland 2006).

Nach dem Auftragen des Bondingmaterials darf es nicht übermäßig verblasen werden, sondern muss als glänzende Oberfläche anschließend substratnah und nach Herstellerangaben entsprechend polymerisiert werden. Während der Abbindereaktion mit einer Halogen- oder LED-Lampe bildet sich unter Sauerstoffkontakt auf der Oberfläche eine Sauerstoffinhibitionsschicht aus. Diese Region verhindert durch den atmosphärischen Sauerstoff die vollständige Polymerisation, so dass Restmonomere verbleiben können. Eine Mindestschichtstärke von über 15 µm ist nötig, um eine akzeptable Verbindung zum Kunststoff aufbauen zu können (Schäfer 1999a). Auf die folglich entstandene Oberfläche, die sogenannte Hybridschicht (Nakabayashi et al. 1982, van Meerbeek et al. 1992), die aus Kollagen und einpolymerisierten Primer-Adhäsiv besteht, kann der hydrophobe Kunststoff aufgebracht werden. Der Verbund zum hydrophilen Dentin ist geschaffen. Bei der Ausbildung der Hybridschicht, die etwa 2 bis 30 µm dick ist (Lutz et al. 1993), werden die eröffneten Dentintubuli bis zur demineralisierten Tiefe ausgefüllt und es kommt zur Entstehung

von intratubulären Kunststoffzapfen, den sogenannten „Tags“ (Haller 1997, Haller und Blunck 2003). Auf der Internationalen Dental-Schau 2003 wurde die Hybridschicht als „phänomenologischer Ausdruck für Säuredemineralisation und Harzinfiltration“ bezeichnet, die in keinem Zusammenhang zur Effizienz eines Bondingsystems steht (Tay und Ehrensberger 2003).

Während des physiologischen Alterungsprozesses kommt es zur Anlagerung von intratubulären Dentin und zum Verschluss von Dentinkanälchen. Dieser Prozess wird Dentinsklerosierung genannt. Nach Schroeder (1992) bildet sich sklerosiertes Dentin stets peripher der Zement-Dentin-Grenze im Wurzelbereich und im Randbereich von kariösem Dentin. Das sklerosierte Dentin ist jedoch deutlich weniger säurelöslich im Vergleich zu normal strukturiertem Dentin (Heymann 1988). Demzufolge ist die Ausbildung der Hybridschicht in die Tiefe des weniger demineralisierten Dentins deutlich geringer (Lutz et al. 1993). Bei unvollständiger Imprägnierung des Dentins mit Monomer kann ein „Nanoleakage“ zwischen demineralisiertem Dentin und der Hybridschicht entstehen (Pioch 2001). Es besteht die Möglichkeit, dass Flüssigkeit aus den Dentinkanälchen in die porösen Hohlräume eindringt und es in diesen Bereichen zum Abbau von Kollagen und zur Hydrolyse der Hybridschicht kommt (Haller 1997, Pioch 2001). Diese porösen Hohlräume, in die keine Mikroorganismen penetrieren können, werden mit einer Größe von 10 nm bis maximal 50 nm angegeben (Sano et al. 1995).

Nach Blunck (2004) sind für ein effektives Vorgehen zur Vorbehandlung und nachfolgenden Applikation des Füllungskunststoffes vier Arbeitsschritte notwendig, um eine Haftung an den Zahnhartsubstanzen auszubilden:

1. Schmelz-Ätz-Technik zur Freilegung des retentiven Schmelzätzmusters und Oberflächenvergrößerung des Schmelzes.
2. Dentinkonditionierung mittels Säuren (Total-Ätz-Technik) oder sauren Primerlösungen (dentinkonditionierend).
3. Dentinpriming (Auftragen und mechanisches Einreiben eines hydrophilen Monomers).
4. Applikation eines Adhäsivs (Ausbildung der Hybridschicht, mikromechanische Verankerung im Schmelzätzmuster und Verbindung zum Komposit).

*Entwicklung der Dentinadhäsive:* Gluma (Heraeus Kulzer) war 1965 das erste Adhäsiv auf dem deutschen Dentalmarkt und bestand aus vier Einzelkomponenten (Schäfer 1999a, Blunck 2004, Blunck 2005). Bei dieser ersten Adhäsivgeneration erfolgte nach Säureätzung des Schmelzes die Applikation von hydrophoben Materialien auf das hydrophile Dentin. Eine Penetration war aufgrund der Hydrophilie des Dentins jedoch nicht möglich und es traten viele Füllungsverluste auf (Ernst 2001). Diese erste Generation der Adhäsiva konnte im klinischen Alltag nicht bestehen. Seit 1985 wurde versucht, mit Adhäsiva der zweiten Generation unter Aufrechterhaltung der Schmierschicht den adhäsiven Verbund zu gewährleisten. Es erfolgte zwar eine gute Infiltration, aber die Ankopplung des Kompositmaterials auf dem Dentin war durch hydrolytische Zersetzungsprozesse in der Schmierschicht nicht möglich (Haller 1997, Schmalz und Arenholt-Bindslev 2005). Die klinischen Ergebnisse waren unbefriedigend, so dass auch diese Produkte vom Markt genommen wurden. Die dritte Generation wurde 1990 mit dem Produkt Syntac (Ivoclar Vivadent) mit völlig neuem Konzept auf dem Dentalmarkt vorgestellt (Schäfer 1999a).

Die vier oben beschriebenen Arbeitsschritte wurden von diesem Adhäsivsystem mit drei Einzelkomponenten – Syntac Primer für die Dentinkonditionierung (mit zusätzlicher 0,8 bis 4%iger Maleinsäure), Syntac Adhesive (Dentinpriming) und dem Heliobond (Bond) – erfüllt. Da die geforderte explizite Schmelzätzung bei Adhäsiva der dritten Generation nicht so einfach durchzuführen war, wurde die Variante der Total-Ätz-Technik eingeführt, die den Produkten der vierten Generation vorausgeht. Dabei wird 35- bis 40%ige Phosphorsäure beginnend am Schmelz über die ganze Kavität ausgebreitet, wobei beide Zahnhartsubstanzen demineralisiert werden. Nachfolgend werden alle gelösten Präzipitate abgesprüht, die Kavität getrocknet und Primer und Adhäsiv getrennt aus Flaschen aufgetragen.

Für mehr Zeitersparnis sorgen die Adhäsivsysteme der fünften Generation. Zu Beginn erfolgt die gemeinsame Konditionierung von Schmelz und Dentin nach dem Total-Ätz-Prinzip. Die Adhäsiva enthalten bereits alle Komponenten in einem sogenannten „Ein-Flaschen-System“ (Haller 1997, Schäfer 1999b). Bei den Adhäsivsystemen der 4. und 5. Generation sind die extreme Austrocknung des Dentins durch Luftstrom und der Kollaps des Kollagengeflechtes ein entscheidender Kritikpunkt. Das Ergebnis sind geringere Haftwerte durch eine reduzierte Penetration der Monomere (Schäfer 1999c). Deshalb sollte nach der Trocknung von Schmelz und Dentin ein Wiederanfeuchten des Dentins mit Wasser erfolgen (Haller 1997, 2000). Dieser Prozess wird „wet bonding“

oder „re-wetting“ genannt (Haller 1997, Schäfer 1999c, Haller 2000). Keinesfalls darf das Dentin jedoch mit Speichel, Blut oder Sulkusflüssigkeit kontaminiert werden. Die wasserbasierten Adhäsivsysteme mit über 20% Wasseranteil können den Kollaps des Dentins durch eigenes „re-wetting“ kompensieren (Haller 2000).

Mit Ende der 1990er Jahre kommt die 6. Generation der Dentinadhäsiva auf den Dentalmarkt. Bei dieser Generation ist es nicht mehr nötig, den Schritt der Säureapplikation auszuführen. Diese Adhäsivsysteme bestehen aus selbstkonditionierenden Primern, die durch zusätzliche Säuren demineralisierend wirken. Zu dieser Generation zählen auch Produkte, die getrennt in Flaschen geliefert werden und kurz vor der Applikation vermischt werden müssen.

Zur Internationalen Dental-Schau 2003 wurden Adhäsivsysteme der 7. Generation vorgestellt (Tay und Ehrensberger 2003). Dazu zählen alle Dentinadhäsiva, die gleichzeitig Säureätzung, Bonding und zum Teil zusätzliche Desensitizer in einer Flasche beinhalten. Die Arbeitsschritte wurde zusammengefasst und die Anzahl der Komponenten minimiert; ein Beispiel ist iBond der Fa. Heraeus Kulzer (Dunn 2003).

In Tabelle 2 sind die sieben Generationen von Adhäsivsystemen und das Jahr ihrer Einführung mit jeweils einem Produktbeispiel dargestellt.

**Tabelle 2:** Zeitfolge der jeweils ersten Dentinadhäsiva von sieben Generationen in der Übersicht

<b>Generation</b>	<b>Jahr der Einführung</b>	<b>Adhäsivsystem</b>
<b>Erste</b>	1960 bis 1980	Gluma (Heraeus Kulzer)
<b>Zweite</b>	1960 bis 1980	Scotchbond (3M Medica)
<b>Dritte</b>	1980	Syntac (Ivoclar Vivadent)
<b>Vierte</b>	1990	Optibond (Kerr)
<b>Fünfte</b>	1990	Prime&Bond NT (Dentsply)
<b>Sechste</b>	1992	Clearfil SE Bond (Kuraray Dental)
<b>Siebente</b>	2003	iBond (Heraeus Kulzer)

*Werkstoffkundliche Grundlagen und Inhaltsstoffe:* Dentinadhäsiva sind Monomergemische, deren Inhaltsstoffe hauptsächlich aus Methacrylaten (z.B. HEMA = 2-Hydroxyethylmethacrylat, 4-META = 4-Methacryloxyethyltrimellitat-anhydrid, Bis-GMA = Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat), Dimethacrylaten (z.B. TEGDMA = Triethylenglycoldimethacrylat, UDMA = Urethandimethacrylat), Aldehyden (z.B. Glutaraldehyd), organischen Säuren, Photoinitiatoren (z.B. Campherchinon) und Lösungsmitteln bestehen (Schmalz und Arenholt-Bindslev 2005). Verschiedene Adhäsivsysteme werden mit etwa 7 nm großen Füllstoffen angereichert (Pioch 2001). Diese gefüllten Adhäsiva bewirken eine Verringerung der Polymerisationschrumpfung und führen so zu einer verbesserten Randdichtigkeit (van Meerbeek et al. 1993, 1994). Die Polymerisationsschrumpfung moderner Kunststoffe wird in der Literatur zwischen zwei bis drei Vol.-% angegeben (Schmalz und Arenholt-Bindslev 2005, Ho 2007). Die Folge sind Spannungen im Material. Zusätzlich wird durch unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten sowie chemischen und physikalischen Eigenschaften der Komposite der Haftung am Kavitätenrand entgegengewirkt. Es kann zu einem Randspalt kommen, durch den Mikroorganismen eindringen und eine Sekundärkaries verbunden mit Pulpaentzündung auslösen können (Buchmann et al. 1992, Ho 2007).

Bei der vorwiegend fotochemisch durchgeführten Polymerisation kommt es zur Additionsvernetzung über die geöffneten Doppelbindungen an den Methacrylatresten. Aus dieser Wachstumsreaktion wird ein Makromolekül gebildet. Als Folge von unvollständig eingegangenen Doppelbindungen bleibt ein geringer Monomeranteil unverändert als Restmonomer im Makromolekül vorhanden. In einem wässrigen Milieu ist ein eluierbarer Restmonomeranteil hydrophiler Monomere zu erwarten. Über die Dentinkanälchen wird der Kontakt zu den Inhaltsstoffen der Dentinadhäsiva ermöglicht. Durch die eindringende Feuchtigkeit kann es zur Hydrolyse kommen und eine Verringerung der Haftkraft ist die Folge (Haller 1997, Schmalz und Arenholt-Bindslev 2005). Kommt es zu einem direkten Zellkontakt mit TEGDMA und HEMA, wird eine zytotoxische Wirkung beobachtet (Schmalz und Arenholt-Bindslev 2005, Schmalz et al. 2006, Wiegand et al. 2006). Bei der Penetration durch das Dentin wird diese Wirkung für die Zielzelle abgeschwächt. Diese kann zusätzlich durch Schutzmechanismen bzw. Detoxifikationsmechanismen die Substanzen beeinflussen (Schmalz et al. 2006). Ein anderer interessanter Gesichtspunkt ist die Auswirkung von Komposit-Kunststoffen sowie Dentinadhäsiva auf orale Mikroorganismen. So konnten

Hansel et al. (1998) durch das Comonomer TEGDMA eine Wachstumsförderung der kariogenen Keime *S. sobrinus* und *L. acidophilus* beobachten. Wiegand et al. (2006) bestätigten an ausgewählten Anaerobiern eine geringe keimeliminierende Wirkung von TEGDMA und im Gegensatz dazu eine gute antibakterielle Wirkung von HEMA. Friedl et al. (1992) konnten durch Kunststoffrestaurationen eine Wachstumsförderung von *S. mutans* nachweisen.

Das von einigen Herstellern dem Adhäsiv beigemischte Glutaraldehyd wirkt dagegen bakterizid. In einer Tierversuchsstudie von Felton et al. (1989), bei der standardisierte Kavitäten für 48 Stunden oralen Keimen ausgesetzt waren, konnten nach Verwendung des glutaraldehydhaltigen Dentinadhäsivsystems Gluma (Hereaus Kulzer), unter Klasse-V-Kompositrestaurationen keine lebensfähigen Bakterien mehr registriert werden. Allerdings sind glutaraldehydhaltige im Vergleich zu glutaraldehydfreien Adhäsiva (Ergücü et al. 2005) und solchen mit niedrigem pH-Wert (Schmalz und Arenholt-Bindslev 2005) zytotoxisch. Durch die Zugabe von Glutaraldehyd (ab 1984) sollte ursprünglich eine Stabilisierung des kollagenen Netzwerkes im demineralisierten Dentin erreicht werden (Munksgaard und Asmussen 1984) und damit über sogenannte „cross links“ eine Steigerung der Haftkraft (Dijkman et al. 1992, Ritter et al. 2001a, 2001b). Desweiteren verhindert Glutaraldehyd die Adhärenz von Mikroorganismen (Dijkman et al. 1992).

Die japanische Arbeitsgruppe um Imazato et al. (1994) stellte einen antibakteriell wirkenden Monomerzusatz MDPB (Methacryloyloxydodecylpyridiniumbromid) vor. Nachweislich hat MDPB ein Plaque reduzierendes Potential in der klinischen Anwendung (Imazato et al. 1999). Das MDPB enthält neben einer Methacrylat-Funktion mit Pyridiniumbromid auch eine ausgewiesene antibakterielle Komponente (Schmalz et al. 2006). Nach der Produktbeschreibung des Herstellers ist dieses Monomer nach Lichtpolymerisation fest in der Kunststoffmatrix integriert. Die positiv geladene Pyridiniumgruppe zieht die negativ geladenen Zellstrukturen der Bakterien an. Das elektrische Gleichgewicht an der Zellmembran gerät bei Kontakt durcheinander und führt letztlich zur Bakteriolyse. Imazato et al. (1997) stellten bei der Zugabe von 5% MDPB zu einem herkömmlichen selbstätzenden Primer (Liner Bond, Kuraray, Tokyo, Japan) fest, dass eine starke antibakterielle Wirkung gegenüber *S. mutans*, *A. viscosus* und *L. casei* besteht; das Adhäsiv wurde nicht polymerisiert. Die antibakterielle Wirkung gegenüber *S. mutans* blieb auch nach Polymerisation bestehen (Imazato et al. 1998). Imazato et al. (2004) gingen weiterführend im

Tierexperiment dem Einfluss von MDPB auf die Pulpareaktion nach Präparation einer tiefen, mit *S. mutans* infizierten Klasse-V-Kavität nach. Die Autoren konnten bei der Verwendung eines mit 5% MDPB modifizierten Adhäsivsystems (Liner Bond, Kuraray, Tokyo, Japan) keine entzündlichen Reaktionen in der angrenzenden Pulpa beobachten wohl aber eine Reduktion der bakteriellen Besiedelung. In der Kontrollgruppe ohne Adhäsivsystem konnten leichte bis mittlere Entzündungsreaktionen nachgewiesen werden. Nach den Ergebnissen von Imazato et al. (2004) ist MDPB nicht pulpatoxisch und körpereigene Zellen werden nicht angegriffen. Grund dafür dürfte in der Immobilisierung des Pyridiniumbromid durch die Polymerisation liegen, so dass eine unkontrollierte Diffusion in die Pulpa – und damit eine Pulpaschädigung – verhindert wird (Schmalz et al. 2006). Im Jahre 2005 wurde Clearfil Protect Bond (Kuraray Europe) mit dem antibakteriell wirkenden Zusatz MDPB auf dem deutschen Dentalmarkt eingeführt.

Zusammenfassend ist die adhäsive Füllungstherapie ein Meilenstein in der Entwicklung der Zahnheilkunde. Diese – erst ein halbes Jahrhundert alte – Therapiemöglichkeit basiert auf einem streng minimal-invasiven, bedarfs- und defektorientierten Konzept mit dem Ziel der maximalen Substanzschonung und dem Wunsch, die Pulpa gerichtete bakterielle Progression kariogener Mikroorganismen zu unterbinden. Wenn die vorzüglichen klebenden Eigenschaften der Adhäsiva zugleich mit antibakteriellen Eigenschaften verbunden wären, würde dies dem Wunschdenken der Zahnärzte entgegenkommen. Immerhin erwarten 70% von 700 befragten Zahnärzten die Entwicklung von antibakteriell wirkenden Adhäsivsystemen (Redaktion 2004). Der Frage, ob die schon heute auf dem Markt befindlichen Adhäsivsysteme mehrheitlich antibakteriell wirken, wollte die vorliegende Studie nachgehen.

### 3 Zielstellung

In der Füllungstherapie hat sich gezeigt, dass nach Kariesexkavation eine mikrobielle Besiedelung am harten Kavitätenboden in Höhe von  $10^{1-2}$  Keimen bestehen bleibt, die von der Pulpa toleriert wird (Edwardsson 1974, Kneist et al. 1989, 1990, Heinrich et al. 1991, Kidd et al. 1993, Bjørndal et al. 1997, Bjørndal und Larsen 2000). Die Restbesiedlung besteht gewöhnlich aus Streptokokken, Aktinomyzeten und Laktobazillen.

Seit den 1950er Jahren werden am präparierten Zahn im Front- und Seitenzahngebiet Kunststoffrestaurationen eingesetzt und verbunden damit wurden Dentinadhäsivsysteme als Verbundschicht zwischen dem hydrophilen Dentin und den hydrophoben Kunststoffen entwickelt. Die 7. Generation von Dentinadhäsivsystemen ist heute auf dem Dentalmarkt erhältlich.

Ziel der Arbeit war es der Frage nachzugehen, inwieweit Dentinadhäsiva durch ihre unterschiedlichen Inhaltsstoffe auch in der Lage sind, am Kavitätenboden restierende Keime antibakteriell zu beeinflussen. Der Dentin-Agar-Hemmhoftest sollte dabei Verwendung finden und relevante Stämme von Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten eingesetzt werden.

Es sollte überprüft werden,

- in welchem Ausmaß die heute auf dem Dentalmarkt am häufigsten verkauften Dentinadhäsivsysteme antibakteriell wirken.
- ob Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten unterschiedlich betroffen sind.
- ob eine Langzeitwirkung besteht.
- ob eine prinzipiell vorliegende antibakterielle Wirkung durch eine Dentinbarriere beeinflusst wird.

Als Arbeitshypothese wurde angenommen,

- dass Dentinadhäsiva aufgrund ihrer Zusammensetzung mehrheitlich antibakteriell wirken.
- dass azidogene Keime (Streptokokken, Laktobazillen) weniger betroffen sind als basophile Keime (Aktinomyzeten).
- dass eine Langzeitwirkung mehrheitlich nicht besteht.
- dass antibakterielle Inhaltsstoffe von Dentinadhäsiva durch die Dentintubuli penetrieren.



## 4 Material und Methoden

### 4.1 In die Untersuchung einbezogene Adhäsivsysteme

Für die In-vitro-Studie wurden 38 Adhäsivsysteme ausgewählt, die nach Analyse der Gesellschaft für Konsumforschung (2006) auf dem Markt unter den meistverkauften Produkten liegen, einschließlich fünf weiterer Produkte, die zu den Weiterentwicklungen gehören (Anhang Tab. 1).

Die Adhäsivsysteme wurden je zwei Hauptgruppen und zwei Untergruppen zugeordnet. Die Unterscheidung in die beiden Hauptgruppen erfolgte nach der Anwendungsart der Adhäsiva in selbstätzende (self-etch Adhesive) und totalätzende (total-etch Adhesive) und die Zuteilung in die Untergruppen nach dem vorgegebenen Einflaschen- und Mehrflaschensystem (Tab. 3). Vom Hersteller wurde der Konditionierer, der Primer und das Adhäsiv entweder im gemischten Verhältnis oder in einzelnen Flaschen angeboten.

**Tabelle 3:** Hauptgruppen und Untergruppen der Adhäsivsysteme

Hauptgruppe	Untergruppe	Komponenten
<b>Selbstätzende Adhäsiva</b>	Gruppe 1	Konditionierer, Primer, Adhäsiv ( <b>KPA</b> <sup>1</sup> )
	Gruppe 2	Konditionierer, Primer <b>und</b> Adhäsiv ( <b>KP+A</b> <sup>2</sup> )
<b>Totalätzende Adhäsiva</b>	Gruppe 1	Konditionierer <b>und</b> Primer, Adhäsiv ( <b>K+PA</b> <sup>1</sup> )
	Gruppe 2	Konditionierer <b>und</b> Primer <b>und</b> Adhäsiv ( <b>K+P+A</b> <sup>2</sup> )

<sup>1</sup> Einflaschensystem; <sup>2</sup> Mehrflaschensystem

Die für diese In-vitro-Studie ausgewählten Adhäsivsysteme sind in Tabelle 4 aufgelistet.

**Tabelle 4:** In den Dentin-Agar-Hemmhoftest einbezogene Adhäsiva

Einordnung	Adhäsivsystem	Kodierung	Hersteller
<b>Selbstätzende Adhäsiva</b>			
<b>KPA<sup>1</sup></b>	Adper Prompt L-Pop™	AdPLP	3M Espe
	artCem® One	artCem	Merz Dental
	G-BOND™	GBOND	GC EUROPE N.V.
	go	go	SDI Southern Dental
	iBond	iBond	Heraeus Kulzer
	OptiBond® All In One	Optaio	Kerr
	Xeno® III	XenoIII	Dentsply
<b>KP+A<sup>2</sup></b>	AdheSE®	AdheSE	Ivoclar Vivadent
	A.R.T. BOND	ARTBo	Coltène® Whaledent
	CLEARFIL® LINER	CLiBo1*	Kuraray Europe
	BOND 2V	CLiBo2**	
	CLEARFIL PROTECT BOND	CPrBo	
	CLEARFIL™ SE BOND	CSeBo	
	Contax®	Contax	DMG GmbH
	Futurabond DC	FutDC	VOCO GmbH
	Futurabond NR	FutNR	
	frog	frog	SDI Southern Dental
	One Coat Self - Etching	OnCSE	Coltène® Whaledent
	Resulcin® AquaPrime+	Resul	Merz Dental
	MonoBond		
<b>Totalätzende Adhäsiva</b>			
<b>K+PA<sup>1</sup></b>	Adper Scotchbond 1XT	AdSc1	3M Espe
	Admira Bond	AdmBo	VOCO GmbH
	CLEARFIL® NEW BOND	CNeBo	Kuraray Europe
	CLEARFIL® PHOTO BOND	CPhBo	Kuraray Europe
	Cumdente Adhesive	CumAd	Cumdente
	Excite®	Excite	Ivoclar Vivadent
	GLUMA® Comfort® Bond	GluCB	Heraeus Kulzer
	ONE COAT BOND	OnCBo	Coltène® Whaledent
	OptiBond® Solo™ Plus	OptSP	Kerr
	Prime&Bond® NT	PriBo	Dentsply
	Solobond M	SoloM	VOCO GmbH
	TECO®	TECO	DMG GmbH
	XP – Bond	XPBond	Dentsply

Fortsetzung siehe nächste Seite

**Tabelle 4 Fortsetzung:** In den Dentin-Agar-Hemmhoftest einbezogene Adhäsiva

Einordnung	Adhäsivsystem	Kodierung	Hersteller
<b>K+P+A<sup>2</sup></b>	Adper Scotchbond MP	AdScMP	3M Espe
	Ecusit <sup>®</sup> – Primer Mono	Ecusit	DMG GmbH
	GLUMA <sup>®</sup> Solid Bond	GluSB	Heraeus Kulzer
	OptiBond <sup>®</sup> FL	OptFL	Kerr
	paama 2	paama	SDI Southern Dental
	Solobond Plus	SoloP	VOCO GmbH
	Syntac Classic	SynCl	Ivoclar Vivadent

KPA Konditionierer, Primer, Adhäsiv; KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv;

K+PA Konditionierer und Primer, Adhäsiv; K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv

<sup>1</sup>Einflaschensystem, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem; \*lichthärtend, \*\*dualhärtend

## 4.2 In die Untersuchung einbezogene Bakterienstämme

Zur Untersuchung der antibakteriellen Wirkung der Adhäsiva wurden Streptokokken, Aktinomyzeten und Laktobazillen, die gewöhnlich am harten Kavitätenboden überleben können, einbezogen (Kneist et al. 1989).

Insgesamt wurden mit *A. odontolyticus*, *A. israelii*, *A. naeslundii*, *L. casei*, *L. coryniformis*, *L. plantarum*, *S. sanguinis*, *S. sobrinus* und *S. mutans* neun repräsentative Indikatorstämme bzw. Arten ausgewählt (Tab. 5).

**Tabelle 5:** Ausgewählte Indikatorstämme

Aktinomyzeten	Laktobazillen	Streptokokken
<i>A. odontolyticus</i> R22/580 <sup>6</sup>	<i>L. casei</i> IMET 10692 <sup>3</sup>	<i>S. sanguinis</i> OMZ 9S <sup>2</sup>
<i>A. israelii</i> IMET 10972 <sup>3</sup>	<i>L. coryniformis</i> DSMZ 20001 <sup>4</sup>	<i>S. sobrinus</i> OMZ 176 (d) <sup>2</sup>
<i>A. naeslundii</i> ATCC 27044 <sup>5</sup>	<i>L. plantarum</i> DSMZ 2601 <sup>4</sup>	<i>S. mutans</i> NCTC 10449 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Collection of Type Cultures (NCTC), London, UK

<sup>2</sup> Dept. of Oral Microbiology and General Immunology (OMZ), Dental Institute, Zürich, Schweiz, Prof. B. Guggenheim

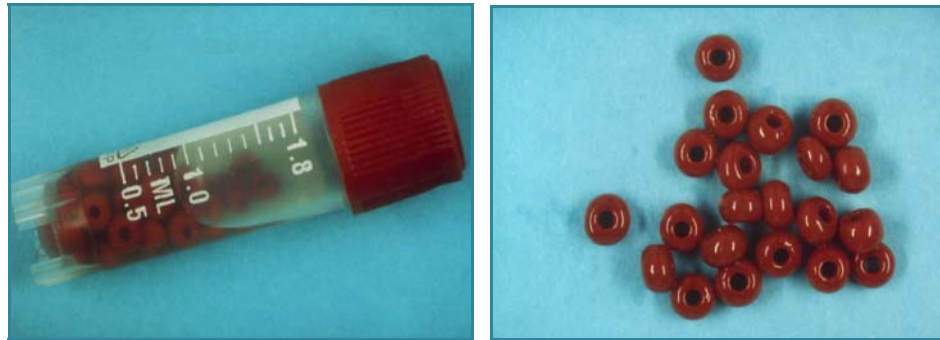
<sup>3</sup> Zentralinstitut für Mikrobiologie und Experimentelle Therapie (IMET), Jena, DDR, Prof. W. Köhler

<sup>4</sup> Deutsche Sammlungen für Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH (DSMZ), Braunschweig

<sup>5</sup> The University of Manitoba, Faculty of Dentistry Department of Oral Biology, Winnipeg, Manitoba, Canada R3E OW3, American Type Culture Collection (ATCC), Prof. Bowden

<sup>6</sup> Biologisches Labor, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Jena

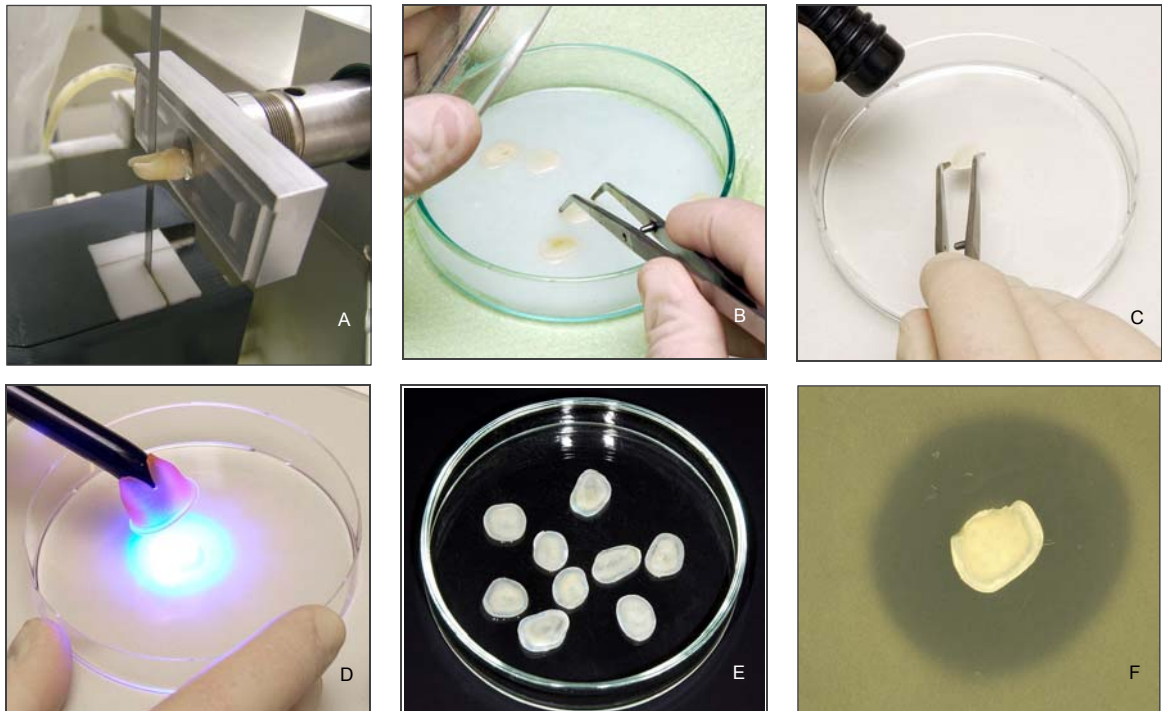
Die Indikatorstämme lagen als Stammkonserven in Microbanks<sup>TM</sup> (PRO-LAB Diagnostics, Canada) bei -18°C im Tiefkühlschrank vor (Abb. 1).



**Abbildung 1:** Microbank<sup>TM</sup> (links) mit Keramikperlen (rechts) zur Haltung von Bakterienstämmen

#### 4.3 Aufbereitung humaner Dentinscheiben

Es wurden Dentinscheiben von klinisch gesunden, kariesfreien humanen Molaren eingesetzt. Die operativ entfernten Zähne wurden von der Kieferchirurgischen Zahnarztpraxis Dr. H. Popp (Erfurt) und der Kieferchirurgischen Gemeinschaftspraxis Dr. Wurdinger und Dr. Reuter (Jena) zur Verfügung gestellt. Die Aufbewahrung der Zähne erfolgte nach mechanischer Säuberung in destilliertem Wasser im Kühlschrank. Mit dem EXAKT-Trennschleifsystem 300 CP (Fa. EXAKT Apparatebau GmbH, Nordstedt, BRD; Abb. 2) wurden unter standardisierten Bedingungen Dentinscheiben mit einer Dicke von 0,7 mm bis 0,8 mm hergestellt. Aus jedem extrahierten Molar konnten im Mittel nur maximal zwei geeignete pulpanahe intakte Dentinscheiben gewonnen werden. Der Durchmesser von 10,8 mm wurde nach Ausmessung von 100 Dentinscheiben ermittelt. Für die 38 Adhäsivsysteme wurden annähernd 700 Dentinscheiben vor ihrer Verwendung sterilisiert. Die Aufbewahrung erfolgte in destilliertem Wasser im Kühlschrank.



**Abbildung 2:** (A) Herstellung der Dentinscheiben (Dicke 0,7 bis 0,8 mm, mittlerer Durchmesser 10,8 mm) mit dem EXAKT-Trennschleifsystem 300 CP (Fa. EXAKT Apparatebau GmbH, Nordstedt, BRD), (B) autoklavierte Dentinscheiben, (C) ölfreier Luftstrom zum Verblasen der Adhäsivschicht nach Beschichtung, (D) Polymerisation eines Adhäsivsystems mit der LED-Lampe Free Light 2 (3M ESPE), (E) aseptische Aufbewahrung der Dentinscheiben zwischen den Arbeitsschritten, (F) antibakterielle Wirkung von Clearfil Protect Bond gegenüber *Actinomyces naeslundii* im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung

#### 4.4 Versuchsablauf

Die Indikatorstämme wurden aus 3 bis 4 Keramikperlen aus Microbanks™ (PRO-LAB Diagnostics, Canada) reaktiviert (Abb. 1). Die Stämme der Streptokokken wurden für 24 Stunden unter anearoben Bedingungen (Anaerobierbrutschrank VT 5042 EK/N2; 95% N<sub>2</sub> und 5% CO<sub>2</sub>; Fa. Heraeus) in Balmellibouillon (10 g Bacto-Tryptose, 5 g Hefe-Extrakt, 5 g K<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 3 g Fleischextrakt, 50 g Saccharose, ad 1000 ml Aqua dest.; pH 7,2) bei 35 ± 2°C angezüchtet. Die Indikatorstämme der Laktobazillen und der Aktinomyzeten benötigten eine 48-stündige bis 3-tägige (*A. israelii* IMET 10972) anearobe Anzuchtzeit. Von der jeweiligen Bakteriensuspension wurden 0,1 ml auf Balmelliagar pipettiert und ausgespatelt.

Unter aseptischen Bedingungen (Werkbank LaminAir HBB 2448, Fa. Heraeus) wurden die sterilen Dentinscheiben mit dem Adhäsivsystem nach Herstellerangaben beschichtet und polymerisiert (Free Light 2, 3M ESPE, 430 - 480 nm, ca. 1000mW pro cm<sup>2</sup>) (Abb. 2) und nachfolgend auf die inokulierte Agaroberfläche aufgelegt, leicht

angedrückt und für 48 Stunden unter anaeroben Bedingungen bei  $35 \pm 2^\circ\text{C}$  bebrütet. Nach der Inkubation wurde der entstandene Hemmhof im Bakterienrasen metrisch erfasst und fotografisch dokumentiert (Abb. 2).

Bei einer antibakteriellen Wirkung eines Adhäsivsystems wurde weiterführend einer antibakteriellen Langzeitwirkung nachgegangen. Bei einem negativen Befund wurde für den Nullwert der Durchmesser der Dentinscheibe von 10,8 mm zur Mittelwertberechnung eingesetzt. Als Positivkontrolle wurde 1%iges Chlorhexidin jeweils auf Dentinscheiben pipettiert und 48 Stunden bebrütet. Zusätzlich erfolgte eine Kontrolle mit 1%igem Chlorhexidin auf Papierplättchen, um die Barriere der 0,7 bis 0,8 mm dicken Dentinscheibe zu erfassen. Als Negativkontrolle wurde sterile physiologische Kochsalzlösung mitgeführt.

#### **4.5 Langzeitversuch**

Es wurden wie zuvor beschrieben Dentinscheiben mit dem jeweiligen antibakteriell wirkenden Adhäsivsystem beschichtet, polymerisiert und im Kühlschrank unter aseptischen Bedingungen auf einer feuchten Unterlage (Filterpapier) aufbewahrt. Anschließend wurden die beschichteten Dentinscheiben auf den beimpften Balmelliagar aufgelegt. Nach 48-stündiger anaerober Bebrütung bei  $35 \pm 2^\circ\text{C}$  (Anaerobierbrutschrank VT 5042 EK/N2; 95%  $\text{N}_2$  und 5%  $\text{CO}_2$ ; Fa. Heraeus) wurden die Hemmhöfe im Bakterienrasen registriert. Um die Kosten in einem entsprechenden Rahmen zu halten, wurde beginnend mit dem siebten Tag nach Beschichtung die erstmalige Langzeitwirkung überprüft. Nachfolgend wurde in absteigender oder aufsteigender Richtung nach 2, 4 und 6 Tagen bis zu 7 Wochen die anhaltende Sensibilität jeweiliger Bakterienstämme kontrolliert. Auch hier wurde eine Fotodokumentation angelegt.

#### **4.6 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen**

Acht Adhäsivsysteme wurden wie zuvor beschrieben nach der Beschichtung und Polymerisation zur rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung ausgewählt (Tab. 6). Die beschichteten, unbehandelten und mit 37%iger Phosphorsäure (Ivoclar Vivadent) geätzten Dentinscheiben wurden in 2,5%igem Glutaraldehyd 30 Minuten fixiert und nachfolgend dreimal je 30 Minuten in Cacodylatpuffer passagiert, in einer aufsteigenden Alkoholreihe (30%, 50%, 70%) jeweils 30 bis 60 Minuten entwässert und im Exsikkator gelagert.

Alle Dentinscheiben wurden mit einer Goldschicht von 25 – 30 nm bedampft (Sputter Coater BAL-TEC SCD 005, BAL-TEC AG, Balzers, Liechtenstein).

**Tabelle 6** Ausgewählte Adhäsiva zur rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung

Hauptgruppe	Untergruppe	Adhäsivsystem
Selbstätzende Adhäsiva	Gruppe 2	K <sup>1</sup> Futurabond DC, AdheSE
Totalätzende Adhäsiva	Gruppe 1	K <sup>1</sup> Solobond M, Teco, Excite
	Gruppe 2	K <sup>2</sup> Syntac Classic, Optibond FL, paama 2

KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv; K+PA Konditionierer und Primer, Adhäsiv;  
K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv, <sup>1</sup>Einflaschensystem, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

Im Rasterelektronenmikroskop LEO 1450 VP (Leo Elektronenmikroskopie GmbH, Oberkochen, Deutschland) wurden die polymerisierten, geätzten und unbehandelten Oberflächen und jeweils auch die Bruchkanten der beschichteten Dentinscheiben mit einer Übersichtsaufnahme und Aufnahmen bei jeweils 800-facher und 3000-facher Vergrößerung dokumentiert.

## 4 Statistische Auswertung

Die mittleren Hemmhofdurchmesser wurden Material und Keimgruppen bezogen berechnet und auf Unterschiede mit dem T-Test für gepaarte Stichproben auf dem Signifikanzniveau von < 0,05 geprüft (Hartung 1995). Zur Datenpflege und statistischen Analyse wurde das Programm SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, Lizenz Universitätsklinikum Jena) Version 15.0 verwendet.

## 5 Ergebnisse

Nach Polymerisation der 38 Adhäsivsysteme auf humane Dentinscheiben konnten 21 Produkte mit einer antibakteriellen Wirkung im Bakterienrasen gegenüber ausgewählten Indikatorstämmen auch nach einer Dentinbarriere registriert werden. Es erfolgten Dreifachbestimmungen innerhalb der ausgewählten Stämme.

Als Positivkontrolle wurde 1%iges Chlorhexidin und als Negativkontrolle 0,9%iges NaCl auf Dentinscheiben bzw. Papierplättchen mitgeführt (Tab. 7). Der mittlere Hemmhof für alle Indikatorstämmen bei Verwendung von 1%igen Chlorhexidin betrug  $25,9 \pm 3,2$  mm (Papierplättchen) bzw.  $24,9 \pm 4,8$  mm (Dentinscheiben); 0,9%iges NaCl löste keine Hemmhöfe im Bakterienrasen aus (Tab. 7). Zwischen Papierplättchen und Dentinplättchen lagen keine Unterschiede in den Hemmhofdurchmessern der Indikatorkeime vor ( $p = 0,627$  ns). Eine Dentinbarriere konnte damit ausgeschlossen werden. Um eine ausgehende antibakterielle Wirkung der vorherigen Phosphorsäureätzung bei totalätzenden Adhäsiva auszuschließen, wurden Dentinscheiben mit 37%iger Phosphorsäure (Ivoclar Vivadent) für 15 Sekunden benetzt, anschließend mit Aqua dest. abgespült und ebenso auf den inokulierten Agaroberflächen inkubiert. Hemmhöfe im Bakterienrasen blieben aus (Tab. 7).

**Tabelle 7:** Wachstumshemmung (in mm) durch 1%iges Chlorhexidin, physiologische Kochsalzlösung (NaCl) und 37%ige Phosphorsäure (nach Abspülung) auf Papierplättchen (PP) bzw. Dentinscheibe (DS)

<b>Taxon</b>	<b>PP 1%iges Chlorhexidin</b>	<b>DS</b>	<b>DS 0,9%iges NaCl</b>	<b>DS 37%ige Phosphorsäure</b>
<b>S. sanguinis</b> OMZ 9S	29	26	0	0
<b>S. sobrinus</b> OMZ 176 (d)	27	23	0	0
<b>S. mutans</b> NCTC 10449	25	32	0	0
<b>L. casei</b> IMET 10692	22	20	0	0
<b>L. coryniformis</b> DSMZ 20001	26	21	0	0
<b>L. plantarum</b> DSMZ 2601	26	19	0	0
<b>A. odontolyticus</b> R22/580	32	25	0	0
<b>A. israelii</b> IMET 10972	23	32	0	0
<b>A. naeslundii</b> ATCC 27044	23	26	0	0
Mittelwert $\pm$ Standartabweichung	$25,9 \pm 3,2$	$24,9 \pm 4,8$	$p = 0,627$ ns	



### 5.1 Antibakterielle Wirkung der selbststützenden Adhäsiva im Dentin-Agar-Hemmhoftest

Von den 21 antibakteriell wirkenden Adhäsivsystemen zählten 12 zur Hauptgruppe der selbststützenden Adhäsiva (Tab. 8).

**Tabelle 8:** Antibakterielle Wirkung selbststützender Adhäsiva nach Polymerisation im Dentin-Agar-Hemmhoftest gegenüber Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten in der Übersicht

Keimgruppe/ Kombination	Gruppe 1 – KPA <sup>1</sup>	Gruppe 2 – KP+A <sup>2</sup>
<b>Streptokokken</b>	artCem One	CLEARFIL LINER BOND 2V*
<b>Laktobazillen</b>	iBond	CLEARFIL PROTECT BOND
<b>Aktinomyzeten</b>	Xeno III	Resulcin AquaPrime + MonoBond
<b>Streptokokken</b>	G-Bond	CLEARFIL SE BOND
<b>Laktobazillen</b>		
<b>Streptokokken</b>	go	Futurabond DC
<b>Aktinomyzeten</b>		
<b>Laktobazillen</b>		One Coat Self- Etching
<b>Aktinomyzeten</b>		
<b>Streptokokken</b>	Adper Prompt L-Pop	

KPA Konditionierer, Primer, Adhäsiv; <sup>1</sup>Einflaschensystem

KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

\* lichthärtend

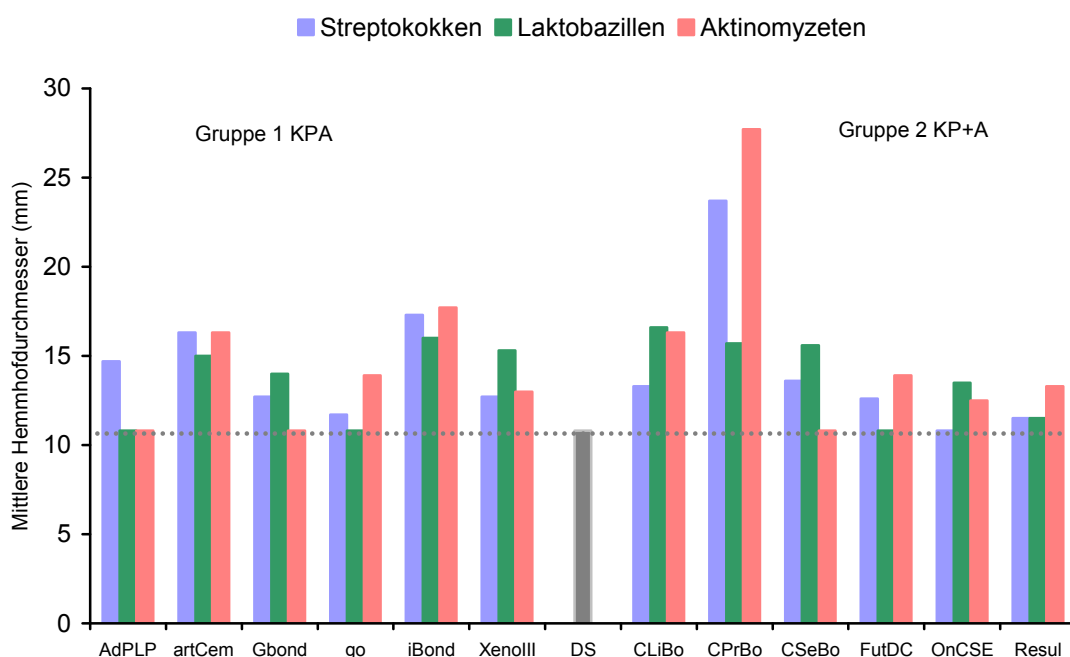
artCem One, iBond, Xeno III der ersten Gruppe (KPA) inhibierten alle drei Bakteriengattungen im Wachstum (Anhang Abb. 1, 1a, 4, 4a und 5). Dabei erzielte iBond die größten Hemmhofdurchmesser von 17,3 mm bei den Streptokokken, von 16,0 mm bei den Laktobazillen und 17,7 mm bei den Aktinomyzeten (Abb. 3, Anhang Abb. 1 bis 11a).

Die minimalsten Hemmhöfe im Bakterienrasen wurden bei den Streptokokken mit 11,8 mm (go), bei den Laktobazillen mit 14 mm (G-Bond) und bei den Aktinomyzeten mit 13,0 mm (Xeno III) registriert (Abb. 3, Anhang Tab. 5 bis 7).

In der Gruppe KP+A der selbststützenden Adhäsiva hatten die Adhäsivsysteme Clearfil Liner Bond 2V (lichthärtend), Clearfil Protect Bond und Resulcin AquaPrime+MonoBond, eine antibakterielle Wirkung gegenüber allen drei Bakteriengattungen (Tab. 8).

Clearfil Protect Bond wies eine ausgeprägte Wachstumshemmung im Bakterienrasen der Streptokokken (23,7 mm), Laktobazillen (15,7 mm) und Aktinomyzeten (27,7 mm) auf und wurde bei den Laktobazillen nur von Clearfil Liner Bond 2V (lichthärtend) mit 16,7 mm übertroffen (Abb. 3).

Die minimalsten Hemmhöfe im Bakterienrasen wurden bei den Streptokokken mit 11,8 mm (Resulcin AquaPrime+MonoBond), bei den Laktobazillen mit 11,5 mm (Resulcin AquaPrime+MonoBond) und bei den Aktinomyzeten mit 12,5 mm (One Coat Self-Etching) registriert (Abb. 3, Anhang Tab. 5 bis 7, Anhang Abb. 1 bis 11a).



**Abbildung 3:** Mittlere Hemmhofdurchmesser (mm) selbstätzender Adhäsiva nach Polymerisation im Dentin-Agar-Hemmhoftest gegenüber Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten

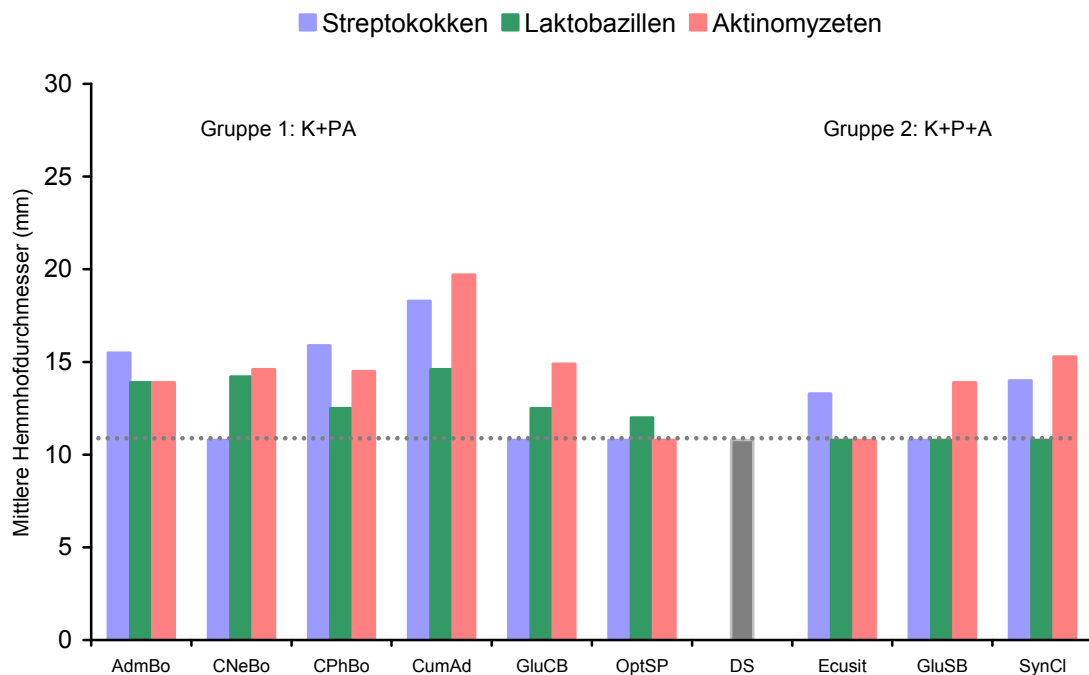
[**Abkürzungen Gruppe 1 – KPA:** Adper Prompt L-Pop (AdPLP), artCem One (artCem), G-BOND (GBOND), go (go), iBond (iBond), Xeno III (XenoIII), **Gruppe 2 – KP+A:** CLEARFIL LINER BOND 2V (CLiBo, lichthärtend), CLEARFIL PROTECT BOND (CPrBo), CLEARFIL SE BOND (CSeBo), Futurabond DC (FutDC), One Coat Self-Etching Bond (OnCSE), Resulcin AquaPrime+MonoBond (Resul). DS (Dentinscheibe mit 10,8 mm im Durchmesser, als Richtwert für die Adhäsiva mit keiner Hemmung der Indikatorstämme)]

## 5.2 Antibakterielle Wirkung der totalätzenden Adhäsiva im Dentin-Agar-Hemmhoftest

Neun der totalätzenden Adhäsiva erwiesen sich nach Polymerisation gegenüber den Bakteriengattungen als antibakteriell (Abb. 4, Anhang Abb. 12 bis 20).

Von der Gruppe 1 der totalätzenden Adhäsiva (K+PA) hemmten Admira Bond, Clearfil Photo Bond und Cumdente Adhesive alle drei Bakteriengattungen (Tab. 9). Die größten

Hemmhöfe im Bakterienrasen der Streptokokken von 18,3 mm, der Laktobazillen von 14,6 mm und der Aktinomyzeten von 19,7 mm wurden durch Cumdente Adhesive erreicht. Die minimalsten Hemmhofspannen lagen bei den Streptokokken bei 15,5 mm (Admira Bond), bei den Laktobazillen bei 12 mm (OptiBond Solo Plus) und bei den Aktinomyzeten bei 13,9 mm (Admira Bond) (Abb. 4, Anhang Tab. 8 bis 10, Anhang Abb. 12 bis 20).



**Abbildung 4:** Mittlere Hemmhofdurchmesser (mm) totalätzender Adhäsiva nach Polymerisation im Dentin-Agar-Hemmhoftest gegenüber Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten

[**Abkürzungen Gruppe 1 – K+PA:** Admira Bond (AdmBo), CLEARFIL NEW BOND (CNeBo), CLEARFIL PHOTO BOND (CPhBo), Cumdente Adhesive (CumAd), GLUMA Comfort Bond (GluCB), OptiBond Solo Plus (OptSP). **Gruppe 2 – K+P+A:** Ecusit – Primer Mono (Ecusit), GLUMA Solid Bond (GluSB), Syntac Classic (SynCl). DS (Dentinscheibe mit 10,8 mm im Durchmesser als Richtwert für die Adhäsiva mit keiner Hemmung der Indikatorstämme)]

In der Gruppe 2 der totalätzenden Adhäsiva (K+P+A) lagen die Hemmhöfe im Bakterienrasen der Streptokokken zwischen 13,3 mm (Ecusit – Primer Mono) und 14,0 mm (Syntac Classic) und im Bakterienrasen der Aktinomyzeten zwischen 13,9 mm (GLUMA Solid Bond) und 15,3 mm (Syntac Classic) (Abb. 4, Anhang Tab. 8 bis 10). Die Stämme der Laktobazillen wurden von keinem Adhäsivsystem dieser Gruppe im Wachstum gehemmt.

**Tabelle 9:** Antibakterielle Wirkung totalätzender Adhäsiva nach Polymerisation im Dentin-Agar-Hemmhoftest gegenüber Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten in der Übersicht

<b>Keimgruppe/ Kombination</b>	<b>Gruppe 1 – K+PA<sup>1</sup></b>	<b>Gruppe 2 – K+P+A<sup>2</sup></b>
<b>Streptokokken Laktobazillen Aktinomyzeten</b>	Admira Bond CLEARFIL PHOTO BOND Cumdente Adhesive	
<b>Streptokokken Aktinomyzeten</b>		Syntac Classic
<b>Laktobazillen Aktinomyzeten</b>	GLUMA Comfort Bond CLEARFIL NEW BOND	
<b>Streptokokken</b>		Ecusit – Primer Mono
<b>Laktobazillen</b>	OptiBond Solo Plus	
<b>Aktinomyzeten</b>		GLUMA Solid Bond

K+PA Konditionierer und Primer, Adhäsiv; <sup>1</sup>Einflaschensystem

K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

Bezugnehmend auf die Säulendiagramme in Abbildung 3 und 4 wurden in Tabelle 10 die Hemmhofgrößen Keimgruppen bezogen berechnet, gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer mittleren Hemmhofdurchmesser verglichen. Die mittleren Hemmhofdurchmesser lagen im Mittel zwischen 11 und 15 mm (Tab. 10).

In der Gruppe 1 (KPA) der selbstätzenden Adhäsiva wurden die Streptokokken (13,8 mm) vor Laktobazillen (13,3 mm) und Aktinomyzeten (13,1 mm) gehemmt. In der Gruppe 2 (KP+A) wurden demgegenüber Aktinomyzeten (14,8 mm) vor Streptokokken (13,8 mm) und Laktobazillen (13,5 mm) im Wachstum eingeschränkt. Einzig bei den Gruppen 1 (K+PA) und 2 (K+P+A) der totalätzenden Adhäsiva wurde deutlich, dass Aktinomyzeten vor Streptokokken und Laktobazillen gehemmt wurden.

In den ersten drei Untergruppen lagen zwischen Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten keine signifikanten Unterschiede in den Hemmhofgrößen vor. In der Gruppe 2 (K+P+A) der totalätzenden Adhäsiva wurden die Aktinomyzeten signifikant stärker vor den Laktobazillen gehemmt ( $p = 0,030s$ ).

**Tabelle 10:** Mittlere Hemmhofgröße (in mm) der polymerisierten selbstätzenden und totalätzenden Adhäsiva im Dentin-Agar-Hemmhoftest

Keimgruppe/ Komponente	N Stammzahl	Min.	Max.	Mittelwert	Standard- abweichung
<b>Selbstätzende Adhäsiva</b>					
<b>Gruppe 1 – KPA<sup>1</sup></b>					
Streptokokken	21	10,8	19,0	13,8	2,7
Laktobazillen	21	10,8	19,0	13,3	2,8
Aktinomyzeten	21	10,8	20,0	13,1	3,0
<b>Gruppe 2 – KP+A<sup>2</sup></b>					
Streptokokken	21	10,8	25,0	13,8	4,5
Laktobazillen	21	10,8	20,0	13,5	3,3
Aktinomyzeten	21	10,8	31,0	14,8	6,1
<b>Totalätzende Adhäsiva</b>					
<b>Gruppe 1 – K+PA<sup>1</sup></b>					
Streptokokken	18	10,8	25,0	13,7	4,9
Laktobazillen	18	10,8	21,0	13,1	3,6
Aktinomyzeten	18	10,8	22,0	14,8	4,5
<b>Gruppe 2 – K+P+A<sup>2</sup></b>					
Streptokokken	15	10,8	18,0	12,0	2,1
Laktobazillen	15	10,8	11,0	10,9	0,1
Aktinomyzeten	15	10,8	20,0	13,0	3,4

KPA Konditionierer, Primer, Adhäsiv; KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv;

K+PA Konditionierer und Primer, Adhäsiv; K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv

<sup>1</sup>Einflaschensystem; <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

Test für gepaarte Stichproben, Signifikanz (zweiseitig) auf dem Niveau von  $< 0,05$ s

#### **Selbstätzende Adhäsiva Gruppe 1 – KPA:**

Streptokokken : Laktobazillen  $p = 0,447$ , Streptokokken : Aktinomyzeten  $p = 0,226$ ,

Laktobazillen : Aktinomyzeten  $p = 0,846$

#### **Selbstätzende Adhäsiva Gruppe 2 – KP+A:**

Streptokokken : Laktobazillen  $p = 0,804$ , Streptokokken : Aktinomyzeten  $p = 0,129$ ,

Laktobazillen : Aktinomyzeten  $p = 0,334$

#### **Totalätzende Adhäsiva Gruppe 1 – KPA:**

Streptokokken : Laktobazillen  $p = 0,564$ , Streptokokken : Aktinomyzeten  $p = 0,521$ ,

Laktobazillen : Aktinomyzeten  $p = 0,263$

#### **Totalätzende Adhäsiva Gruppe 2 – K+PA:**

Streptokokken : Laktobazillen  $p = 0,064$ , Streptokokken : Aktinomyzeten  $p = 0,320$ ,

Laktobazillen : Aktinomyzeten  $p = 0,030$ s

### **5.3 Langzeit-Dentin-Agar-Hemmhoftest**

Im Langzeitversuch erwiesen sich fünf der selbstätzenden Adhäsiva als antibakteriell (Tab. 11). artCem One, iBond, Xeno III und One Coat Self-Etching inhibierten das Wachstum einzelner Keime bis zu sechs Tagen. Die antibakterielle Wirkung von

Clearfil Protect Bond bestand bis zu 7 Wochen; die Hemmhöfe waren im Vergleich zum Anfangsbefund aber deutlich reduziert (Tab. 11).

**Tabelle 11:** Antibakterielle Langzeitwirkung selbstätzender Adhäsiva

Adhäsiv	Wirkungszeit und Hemmhöfe (mm) gegenüber sensiblen Stämmen			
	Basis	2 Tage	4 Tage	6 Tage bis zu 7 Wochen
<b>Gruppe 1 – KPA<sup>1</sup></b>				
<b>artCem One</b>				
Aktinomyzeten	17	nd	13	
A. naeslundii				
<b>iBond</b>				
Streptokokken	19	20	16	
S. sobrinus		S. sobrinus	S. sobrinus	
Laktobazillen	19	15	17	
L. coryniformis				
Aktinomyzeten	20	17	17	
A. naeslundii				
<b>Xeno III</b>				
Streptokokken	16	15		
S. mutans				
Laktobazillen	18	20	19	15
L. coryniformis		L. coryniformis	L. coryniformis	L. coryniformis
Aktinomyzeten	15	nd	15	
A. naeslundii			A. naeslundii	
<b>Gruppe 2 – KP+A<sup>2</sup></b>				
<b>One Coat Self-Etching</b>				
Laktobazillen	19	13		
L. coryniformis				
			bis zu 5	6 7 Wo
<b>CLEARFIL PROTECT BOND</b>				
Streptokokken	25		12	
S. mutans			S. mutans	
Laktobazillen	13		12	
L. casei			L. casei	
Aktinomyzeten	31			14
A. naeslundii			A. naeslundii	

nd = nicht durchgeführt; Wo = Woche; <sup>1</sup>Einflaschensystem; <sup>2</sup>Mehrflaschensystem  
KPA Konditionierer, Primer, Adhäsiv; KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv

Gluma Comfort Bond, Clearfil New Bond und Clearfil Photo Bond aus der Gruppe 1 der totalätzenden Adhäsiva sowie Gluma Solid Bond und Syntac Classic aus der Gruppe 2 erwiesen sich im Langzeitversuch hauptsächlich gegenüber den Indikatorstämmen der Aktinomyzeten bis zum 4. Tag als antibakteriell. Eine Reduzierung des Wachstums sensibler Stämme der Streptokokken konnte durch Syntac Classic zusätzlich bis zum 2. Tag beobachtet werden (Tab. 12).

**Tabelle 12:** Antibakterielle Langzeitwirkung totalätzender Adhäsiva

Adhäsiv	Wirkungszeit und Hemmhöfe (mm) gegenüber sensiblen Stämmen		
	Basis	2 Tage	4 Tage
<b>Gruppe 1 – K+PA<sup>1</sup></b>			
<b>GLUMA Comfort Bond</b>			
Aktinomyzeten	<b>18</b>	<b>14</b>	
	A. odontolyticus		
<b>CLEARFIL NEW BOND</b>			
Aktinomyzeten	<b>20</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
	A. naeslundii		
<b>CLEARFIL PHOTO BOND</b>			
Aktinomyzeten	<b>22</b>	nd	<b>14</b>
	A. naeslundii		
<b>Gruppe 2 – K+P+A<sup>2</sup></b>			
<b>GLUMA Solid Bond</b>			
Aktinomyzeten	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>14</b>
	A. odontolyticus		
<b>Syntac Classic</b>			
Streptokokken	<b>15</b>	<b>16</b>	
	S. mutans		
Aktinomyzeten	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>16</b>
	A. naeslundii		

K+PA Konditionierer und Primer, Adhäsiv; <sup>1</sup>Einflaschensystem

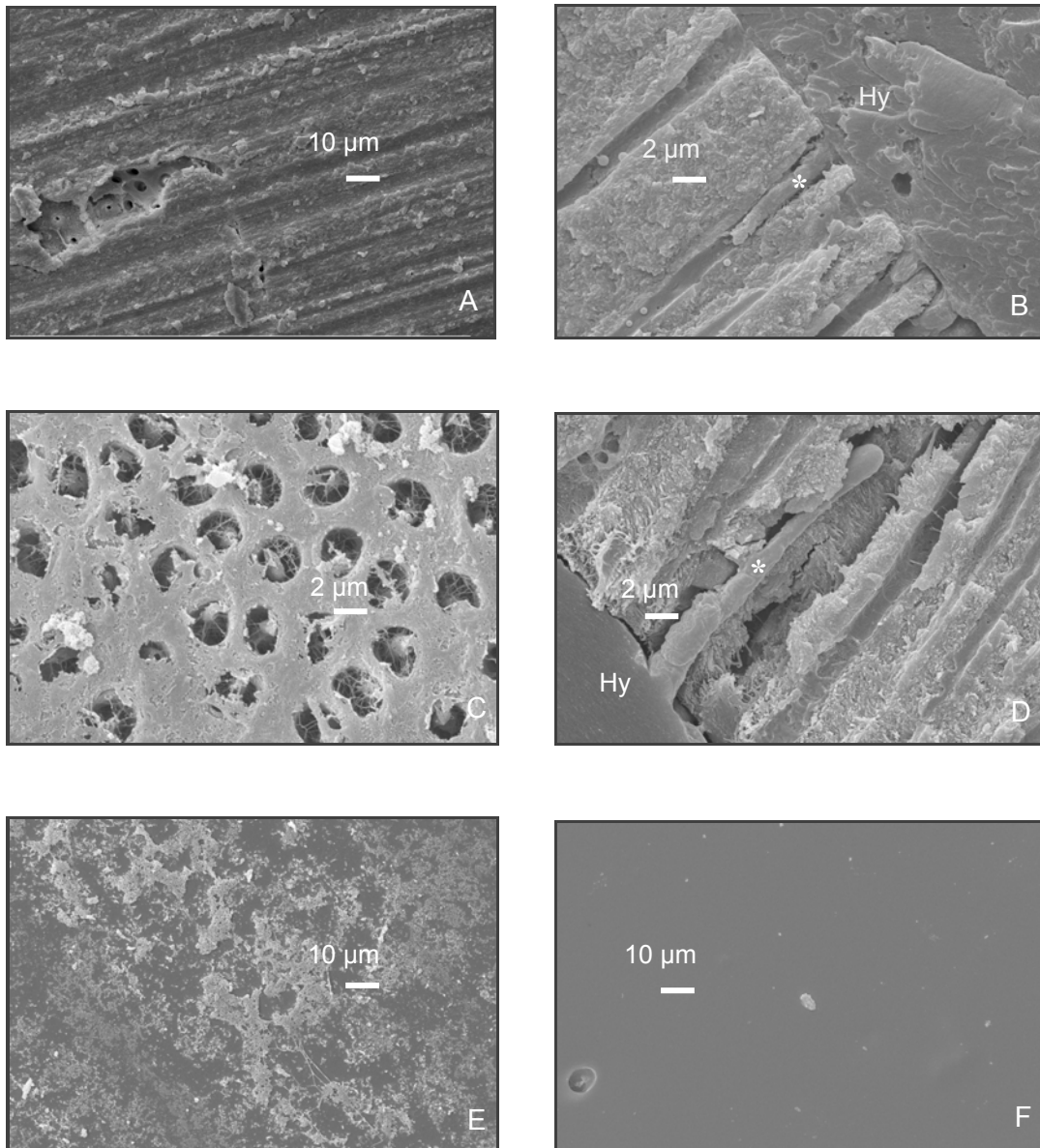
K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv; <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

#### 5.4 Rasterelektronenmikroskopische Betrachtung ausgewählter Adhäsiva

Acht Adhäsiva wurden ausgewählt und nach Polymerisation auf den Dentinscheiben rasterelektronenmikroskopisch betrachtet (Tab. 6). Dabei wurden vergleichend auch eine unbehandelte Dentinscheibe und eine nach Säurebehandlung (37%ige Phosphorsäure) einbezogen.

Durch die Brechung der Dentinscheiben konnte die Eindringtiefe der Adhäsiva beurteilt werden. Weiterhin konnte ein Eindruck über die Oberflächenbeschaffenheit einer unbehandelten im Vergleich zu einer geätzten und mit Adhäsiv beschichteten und polymerisierten Dentinscheibe gewonnen werden.

Bei allen Untersuchungsproben konnte eine einwandfrei benetzte Oberfläche in der Übersichtsaufnahme registriert werden. An der Bruchkante ließ sich die entstandene Hybridschicht mit ausgebildeten Tags in einer Größenordnung von circa 6 bis 20 µm in den Dentintubuli nachweisen (Abb. 5).



**Abbildung 5** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen bei 800-facher (A, E, F) und 3000-facher (B, C, D) Vergrößerung des selbstätzenden Adhäsivsystems AdheSE und des totalätzenden Adhäsivsystems Syntac Classic (beide Vivadent Ivoclar): (A) ungeätzte Dentinscheibe, (B) selbstätzendes Adhäsiv AdheSE mit gebildeter Hybridschicht (Hy) und Tag (\*), (C) geätzte Dentinscheibe mit freigelegtem Kollagennetzwerk und Dentintubuli, (D) totalätzendes Adhäsiv Syntac Classic mit gebildeter Hybridschicht (Hy) und Tag (\*), Oberflächenaufnahme der polymerisierten Adhäsiva AdheSE (E) und Syntac Classic (F)



## 6 Diskussion

Die intensive Nachfrage und Weiterentwicklung von Dentinadhäsivsystemen hat bis heute zu einer Vielzahl von Produkten auf dem Markt geführt, die der Zahnarzt nur noch schwer überblicken kann. Die Arbeitsschritte in der klinischen Anwendung wurden vereinfacht und zugleich veränderte Zusammensetzungen der Adhäsiva eröffneten neue Anwendungsmöglichkeiten. So werden Dentinadhäsivsysteme heute hauptsächlich zur adhäsiven Befestigung direkter lighthärtender Komposit- und Kompomerwerkstoffe benutzt, zum Einsetzen von indirekten Restaurationen in Kombination mit einem licht- bzw. chemischhärtenden Befestigungskomposit, zur Reparatur an Metall-Kunststoff-Verblendungen bis hin zur Behandlung überempfindlicher Zahnhalsbereiche und der Eingliederung von Brackets. Die Empfehlungen zum klinischen Einsatz einzelner Präparate basierten wegen der rasanten Entwicklung der Produkte häufig auf Ergebnissen von In-vitro-Untersuchungen und weniger auf Ergebnissen klinischer Studien. Letztlich sind die Präparate auf dem Dentalmarkt häufig zu kurzlebig oder inzwischen schon modifiziert.

Begonnen hat die minimal-invasive Füllungstherapie mit Adhäsivsystemen in den 1970er Jahren des letzten Jahrhunderts; Gluma von der Fa. Heraeus Kulzer war eines der ersten Adhäsiva (Schäfer 1999a, Blunck 2005). Heute ist bereits die 7. Generation von Adhäsiva verfügbar. Bei der rasanten Entwicklung der Adhäsivsysteme und der Zeitaufwändigkeit klinischer Studien, haben sich vor allem Modelluntersuchungen etabliert, um toxische bis hin zu antibakteriellen Wirkungsweisen von Adhäsiva in vitro zu überprüfen. In der vorliegenden Studie wurde der antibakteriellen Wirkung von Adhäsiva im Agar-Diffusionstest nachgegangen.

Mit dem Agar-Diffusionstest erkannte bereits 1929 Fleming die Wirkung des Penicillins auf Bakterien (Liedtke 2003). Bondi et al. (1947) sowie Bauer et al. (1966) hatten den Agar-Diffusionstest erfolgreich in vielen Bereichen der Medizin – insbesondere zur Sensibilitätstestung von Mikroorganismen – etabliert. In der Zahnheilkunde sind Kelstrup und Gibbons (1969) mit „Bacteriocin-Fingerprinting“ der epidemiologischen Verbreitung von *S. mutans* nachgegangen, und die Arbeitsgruppe um Emilson hat 1970 mit dem Agar-Diffusionstest die antibakterielle Wirkung des Chlorhexidins untersucht (Emilson et al. 1976, Emilson 1977). Bis heute haben sich pars pro toto Autoren wie Fraga et al. (1996), Herrera et al. (2000), Karanika-Kouma et al. (2001),

Imazato et al. (2002a, 2002b) oder Schmalz et al. (2004) mit den antibakteriellen Einflüssen ausgewählter Dentinadhäsiva beschäftigt (Tab. 13).

**Tabelle 13:** Zeitliche Übersicht von Studien zur antibakteriellen Wirkung von Dentinadhäsivsystemen bei Verwendung unterschiedlicher Testmethoden und Indikatorstämme (Anzahl der Adhäsivsysteme/Anzahl der Indikatorstämme)

Autor/Jahr	Papier-plättchen	Dentinscheibe	Reservoir	Kavitätenmodell	Andere
<b>Eigene Untersuchung 2009</b>		human (38/9)			
<b>Gondim et al. 2008</b>	(4/2)	human (4/2)			
<b>Feuerstein et al. 2007</b>			(4/1)		(4/1) Mikrotiterplatte
<b>Walter et al. 2007</b>	(4/4)				
<b>Gebauer 2006</b>	(2/3)	bovine (2/3)			
<b>Imazato et al. 2005</b>	(3/3)				(3/3) demineralisierte Dentinblöcke
<b>Kuramoto et al. 2005</b>					(4/1) demineralisierte Kavität
<b>Türkün et al. 2005</b>	(2/1)	human (2/1)	(2/1)	(2/1)	
<b>Kitasako et al. 2004</b>					(2/1) kariöses Dentin
<b>Schmalz et al. 2004</b>	(5/3)	bovine (3/3)			
<b>Özer et al. 2003</b>			(2/1)	(2/1)	
<b>Schmidlin et al. 2003</b>	(9/3)		(9/3)		
<b>Imazato et al. 2002a</b>					(4/2) demineralisierte Dentinblöcke
<b>Imazato et al. 2002b</b>	(10/3)				
<b>Atac et al. 2001</b>	(3/9)				
<b>Karanika-Kouma et al. 2001</b>			(3/4)		
<b>Herrera et al. 2000</b>	(5/32)				
<b>Fraga et al. 1996</b>			(3/8)		

Die Arbeitsgruppen um Fraga et al. (1996), Karanika-Kouma et al. (2001), Schmidlin et al. (2003), Özer et al. (2003), Türkün et al. (2005) und Feuerstein et al. (2007) stanzen ein Reservoir in den inokulierten Agar und testeten zwischen 2 und 9 Dentinadhäsiva.

Eine Polymerisation der Adhäsiva erfolgte in den Studien von Fraga et al. (1996), Karanika-Kouma et al. (2001) und Feuerstein et al. (2007). Autoren wie Schmidlin et al. (2003) und Özer et al. (2003) verzichteten auf eine Polymerisation und Türkün et al. (2005) untersuchten die Präparate vor und nach Polymerisation.

Der Agar-Diffusionstest eignet sich besonders gut für eine schnelle, standardisierbare Untersuchung zur antibakteriellen Wirkung von Einzelkomponenten gegenüber Indikatorstämmen. Dabei ist die Diffusionsfähigkeit der Einzelkomponenten im Agar von ihrer unterschiedlichen Viskosität abhängig; häufig kann aber auch schon der niedrige pH-Wert der Einzelkomponenten die entsprechende Bakterienhemmung auslösen. Dies konnten auch Seltsmann et al. (2008) insbesondere für die Mehrzahl der Primer (33 von 35) der in der vorliegenden Untersuchung getesteten polymerisierten Dentinadhäsiva nachweisen. Dabei erwiesen sich die durch die Primer hervorgerufenen Hemmhöfe als signifikant größer im Vergleich zu denen, die von den anderen Komponenten hervorgerufen wurden. Aktinomyzeten waren wie vorliegend am stärksten betroffen, gefolgt von den Streptokokken und Laktobazillen. Letztere tolerieren ein azidogenes Umfeld biologisch auch in Übereinstimmung zu Baake (2003) am besten.

In der vorliegenden In-vitro-Studie wurde die antibakterielle Wirkung von 38 Dentinadhäsivsystemen nach Polymerisation überprüft. Es handelte sich dabei um Produkte, die nach Analyse der Gesellschaft für Konsumforschung (2006) zu den meist verkauften Adhäsiva zählen; darunter fünf der neuesten Weiterentwicklung.

Der Agar-Diffusionstest wurde in der vorliegenden Studie durch eine humane Dentinbarriere zwischen Bakterien und polymerisiertem Adhäsiv modifiziert (Abb. 2), so dass bei Hemmhofausbildung gleichzeitig die Penetration von antibakteriell wirkenden Inhaltsstoffen via Dentintubuli aufgezeigt werden konnte. Nach gleichem Vorgehen – also der Verwendung humaner Dentinscheiben – führten auch Türkün et al. (2005) und Gondim et al. (2008) Untersuchungen zur antibakteriellen Wirkung von Adhäsiva durch (Tab. 13).

Herrera et al. (2000), Atac et al. (2001), Imazato et al. (2002b), Türkün et al. (2005), Walter et al. (2007) und Gondim et al. (2008) verwendeten Papierplättchen und Schmalz et al. (2004) und Gebauer (2006) Rinderdentinscheiben und Papierplättchen als Träger für das polymerisierte Adhäsiv.

Der Einsatz unterschiedlicher Trägermaterialien als Dentinbarriere für die polymerisierten Dentinadhäsiva erschweren bzw. begrenzen die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus dem Schrifttum. Quantitative Vergleiche sind kaum bzw. nicht möglich wohl aber die Aussage, ob ein Produkt antibakteriell wirkt oder nicht.

So reichten beispielsweise die Durchmesser der gewählten Papierplättchen von 6 bis 6,5 mm (Herrera et al. 2000, Atac et al. 2001, Imazato et al. 2002b, Türkün et al. 2005, Walter et al. 2007 und Gondim et al. 2008), die der Rinderdentinscheiben lagen bei 6 mm (Schmalz et al. 2004, Gebauer 2006) und die der humanen Dentinscheiben bei 4 und 8 mm (Türkün et al. 2005, Gondim et al. 2008). In der vorliegenden Untersuchung wurden 100 Dentinscheiben ausgemessen und ein mittlerer Durchmesser von 10,8 mm bestimmt.

Auch zur Dicke der Träger liegen im Schrifttum unterschiedliche Angaben vor (Atac et al. 2001, Imazato et al. 2002b, Schmalz et al. 2004, Imazato et al. 2005, Türkün et al. 2005, Gebauer 2006, Gondim et al. 2008). Sie lagen gewöhnlich bei 1,5 mm für Papierplättchen, zwischen 0,2 und 0,5 mm für Rinderdentinscheiben und zwischen 0,4 und 2 mm für humane Dentinscheiben, so dass damit der Diffusionsweg bzw. die Ergebnisse durchaus beeinflusst werden konnten. Auf diese Problematik machten zuvor auch Schmalz et al. (2004) und Rathke et al. (2007) aufmerksam. In der vorliegenden Untersuchung wurden die Dentinscheiben mit dem EXAKT-Trennschleifsystem 300 CP (Fa. EXAKT Apparatebau GmbH, Nordstedt, BRD) (Abb. 2) hergestellt und hatten eine mittlere Dicke von 0,7 bis 0,8 mm.

Auch Angaben zur aufgetragenen Probemenge differieren im Schrifttum; Angaben dazu liegen zwischen 10 bis 50 µl (Herrera et al. 2000, Atac et al. 2001, Imazato et al. 2002b, Schmalz et al. 2004, Türkün et al. 2005, Imazato et al. 2005, Gebauer 2006, Walter et al. 2007, Gondim et al. 2008). In der vorliegenden Studie wurde das Adhäsiv schichtweise mit einem Pinsel aufgetragen.

Die Beschaffung von Rinderzähnen ist im Vergleich zur Verwendung humanen Zahngutes unkompliziert. Es erwächst allerdings daraus die Frage, ob Dentin und Dentintubuli selbst die Diffusion beeinflussen und ob unterschiedliches Dentin mit gleichem Ergebnis eingesetzt werden kann. Dieser Frage gingen Schmalz et al. (2001) nach. Rinderdentinscheiben aus der Schmelz-Zement-Grenze erwiesen sich in ihren Permeabilitätseigenschaften koronalen, humanen Dentinscheiben vergleichbar, so dass Schmalz et al. (2004) nachfolgend Rinderdentinscheiben aus der Schmelz-Zement-Grenze für weiterführende Untersuchungen verwendeten. Letztlich sind Ergebnisse von

Gebauer (2006) mit denen von Schmalz et al. (2004) auf der Basis einer gleichen Methodik direkt vergleichbar; es wurden ebenso Rinderdentinscheiben von der Schmelz-Zement-Grenze eingesetzt. Auch die eigenen Ergebnisse und die von Türkün et al. (2005) können mit denen von Schmalz et al. (2004) und Gebauer (2006) verglichen werden.

In der vorliegenden Untersuchung wurden ca. 700 humane Dentinscheiben aus dem koronalen Dentin verwendet. Gondim et al. (2008) verwendeten zwar auch humane Dentinscheiben, teilten aber die topographische Herkunft nicht mit; darüber hinaus polymerisierten Gondim et al. (2008) die Adhäsiva nicht.

Weitere Methoden zur Untersuchung der antibakteriellen Wirkung von Adhäsiva – allerdings ohne Beurteilungsmöglichkeit der Diffusion – sind das humane Kavitätenmodell (Özer et al. 2003, Türkün et al. 2005) und demineralisierte Dentinblöcke (Imazato et al. 2002a, 2005).

Das Kavitätenmodell wurde von Ohmori et al. (1999) unter Verwendung von Primerflüssigkeit zuerst an Rinderzähnen beschrieben. Özer et al. (2003) verwendete nachfolgend dazu kariesfreie humane Molare. Özer et al. (2003) und Türkün et al. (2005) untersuchten vier verschiedene Adhäsivsysteme; die Kavitätenböden wurden zuvor mit *S. mutans* infiziert und für 72 Stunden bebrütet. Das jeweilige Präparat wurde appliziert, polymerisiert, die Kavitäten versorgt und bei 37°C feucht gelagert. Zwei Tage später wurde die Überlebensfähigkeit von *S. mutans* am Kavitätenboden kontrolliert. Bei Verwendung von Clearfil Protect Bond konnten Türkün et al. (2005) nur noch eine 1,3%ige Überlebensfähigkeit von *S. mutans* nachweisen. In der vorliegenden Untersuchung konnte für Clearfil Protect Bond auch eine antibakterielle Wirkung gegenüber *S. mutans* bestätigt werden. Sie dauerte im Langzeitversuch bis zu 6 Wochen an, wobei die Hemmhofgröße aber von 25 mm auf 12 mm abnahm (Tab. 11).

Imazato et al. (2002a, 2005) beeimpften vollständig demineralisierte humane Dentinblöcke (Größe 4 mm x 4 mm und Dicke 200 µm) mit Bakterienstämmen von Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten und inkubierten die Dentinblöcke für 10 Minuten, um eine Penetration der Keime in die Dentintubuli zu unterstützen. Die Autoren testeten in Vorversuchen MDPB als Bestandteil von Clearfil Protect Bond, um die wirksame antibakterielle Konzentration zu ermitteln. Ausgewählte MDPB-Konzentrationen wurden nachfolgend für 20 Sekunden aufgebracht, abgespült und in der Spüllösung die Lebensfähigkeit der Keime überprüft. Den Autoren gelang in ihren Modelluntersuchungen der Nachweis der antibakteriellen Wirkung des MDPB;

allerdings wurden keine Aussagen über die Diffusionstiefe des MDPB in die Dentintubuli getroffen.

Um der klinischen Situation *in vitro* näher zu kommen, wurden vorliegend bewusst Indikatorkeime ausgewählt, die im klinisch akzeptablen harten Dentin am Kavitätenboden (Sondenklirren) restieren können. Dies sind in Übereinstimmung zu Edwardsson (1974), Kneist et al. (1989, 1990) und Kidd et al. (1993) Mutans-Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten.

Als Indikatorstämme wurden deshalb drei Streptokokken, *S. sanguinis* OMZ 9S, *S. sobrinus* OMZ 176 [d] und *S. mutans* NCTC 10449 einbezogen, drei Laktobazillen, die Arten *L. casei* IMET 10692, *L. coryniformis* DSMZ 20001 und *L. plantarum* DSMZ 2601 und mit *A. israelii* IMET 10972, *A. naeslundii* ATCC 27044 und *A. odontolyticus* R22/580 drei Aktinomyzeten.

Gleiche Arten wurden *in vitro* zum Nachweis der antibakteriellen Wirkung von Adhäsiva auch von Fraga et al. (1996), Herrera et al. (2000), Atac et al. (2001), Karanika-Kouma et al. (2001), Imazato et al. (2002a, 2002b), Özer et al. (2003), Schmidlin et al. (2003), Kitasako et al. (2004), Schmalz et al. (2004), Imazato et al. (2005), Kuramoto et al. (2005), Türkün et al. (2005), Gebauer (2006), Feuerstein et al. (2007), Walter et al. (2007) und Gondim et al. (2008) eingesetzt (Tab. 14).

Fraga et al. (1996), Herrera et al. (2000), Karanika-Kouma et al. (2001), Atac et al. (2001), Imazato et al. (2002b), Schmidlin et al. (2003), Schmalz et al. (2004), Gebauer (2006), Walter et al. (2007) und Gondim et al. (2008) hingegen wählten zusätzlich Laktobazillen (*L. gasseri*, *L. acidophilus*, *L. oralis*, *L. salivarius*, *L. oris*), Streptokokken (*S. rattus*, *S. cricetus*, *S. oralis*, *S. mitis*, *S. anginosus*, *S. intermedius*, *S. salivarius*), *Porphyromonas* spp., *Clostridium* spp., *Prevotella* spp., *A. viscosus*, *F. nucleatum* und *E. faecalis* aus, die allerdings von untergeordneter Bedeutung für den Kavitätenboden sind.

Insgesamt setzten die Autoren zwischen einem (Feuerstein et al. 2007, Kuramoto et al. 2005, Türkün et al. 2005, Kitasako et al. 2004, Özer et al. 2003) und 32 Indikatorstämmen (Herrera et al. 2000) ein (Tab. 14). Vorliegend wurden 9 Bakterienarten in die Untersuchung einbezogen.

**Tabelle 14:** Verwendete Indikatorstämme zur Überprüfung der antibakteriellen Wirkung von Dentinadhäsivsystemen

<b>Autoren</b>	<b>Indikatorstämme</b>
<b>Eigene Untersuchung 2009</b>	<i>Streptococcus mutans</i> , <i>S. sobrinus</i> , <i>S. sanguinis</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. coryniformis</i> , <i>Actinomyces israelii</i> , <i>A. naeslundii</i> , <i>A. odontolyticus</i>
<b>Gondim et al. 2008</b>	<i>S. mutans</i> , <i>L. acidophilus</i>
<b>Feuerstein et al. 2007</b>	<i>S. mutans</i>
<b>Walter et al. 2007</b>	<i>S. mutans</i> , <i>S. sobrinus</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>A. viscosus</i>
<b>Gebauer 2006</b>	<i>S. mutans</i> , <i>S. sobrinus</i> , <i>L. acidophilus</i>
<b>Imazato et al. 2005</b>	<i>S. mutans</i> , <i>L. casei</i> , <i>A. naeslundii</i>
<b>Kuramoto et al. 2005</b>	<i>S. mutans</i>
<b>Türkün et al. 2005</b>	<i>S. mutans</i>
<b>Kitasako et al. 2004</b>	<i>S. mutans</i>
<b>Schmalz et al. 2004</b>	<i>S. mutans</i> , <i>S. sobrinus</i> , <i>L. acidophilus</i>
<b>Özer et al. 2003</b>	<i>S. mutans</i>
<b>Schmidlin et al. 2003</b>	<i>S. sobrinus</i> , <i>L. gasseri</i> , <i>A. naeslundii</i>
<b>Imazato et al. 2002a</b>	<i>S. mutans</i> , <i>L. casei</i>
<b>Imazato et al. 2002b</b>	<i>S. mutans</i> , <i>L. casei</i> , <i>A. viscosus</i>
<b>Atac et al. 2001</b>	<i>S. mutans</i> , <i>S. intermedius</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>Prevotella oris</i> , <i>Prevotella bivia</i> , <i>Prevotella denticola</i> , <i>Porphyromonas gingivalis</i> , <i>Porphyromonas endodontalis</i> , <i>Clostridium rhamnosus</i>
<b>Karanika-Kouma et al. 2001</b>	<i>S. mutans</i> , <i>S. sobrinus</i> , <i>L. salivarius</i> , <i>A. viscosus</i>
<b>Herrera et al. 2000</b>	<i>S. mutans</i> , <i>S. rattus</i> , <i>S. sobrinus</i> , <i>S. cricetus</i> , <i>S. sobrinus</i> , <i>S. sanguis</i> , <i>S. oralis</i> , <i>S. mitis</i> , <i>S. anginosus</i> , <i>L. salivarius</i> , <i>L. oris</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. casei</i> , <i>A. odontolyticus</i> , <i>A. viscosus</i> , <i>Porphyromonas spec.</i> (n = 6), <i>Clostridium spec.</i> (n = 10)
<b>Fraga et al. 1996</b>	<i>S. mutans</i> , <i>S. salivarius</i> , <i>S. sobrinus</i> , <i>S. sanguinis</i> , <i>L. casei</i> , <i>A. viscosus</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Fusobacterium nucleatum</i>

Auf Dreifachbestimmungen wurde nach Vorversuchen mit drei Adhäsiva (Adper-Prompt L-Pop, Clearfil Protect Bond und Excite) und in Übereinstimmung zu Scharff (2004) verzichtet, da im Agar-Hemmhoftest bei Dreifachbestimmungen identische Ergebnisse registriert wurden. Bei negativen Befunden waren vorliegend alle Stämme der drei Gattungen betroffen, so dass auch Negativbefunde nicht wiederholt bestätigt wurden.

Nach gleichem Vorgehen überprüften auch Seltsmann et al. (2008) die antibakterielle Aktivität der Einzelkomponenten ( $n = 63$ ) der in der vorliegenden Studie einbezogenen Adhäsiva. Die Mehrzahl der Komponenten richtete sich im Agar-Hemmhoftest gegen alle drei Bakteriengattungen. Aktinomyzeten waren vor Streptokokken und Laktobazillen am stärksten betroffen. Zwei Komponenten wiesen keinerlei antibakterielle Wirkung auf.

In der vorliegenden Studie konnte eine antibakterielle Wirkung bei 21 der 38 Adhäsiva nach Polymerisation nachgewiesen werden. Andere Autoren untersuchten nach Analyse des Schrifttums im Mittel vier Adhäsivsysteme (Minimum 2, Maximum 10) in vitro (Tab. 13). Dabei wurden – quasi multizentrisch – von unterschiedlichen Arbeitsgruppen gleiche Adhäsivsysteme einer Prüfung unterzogen (Tab. 15).

**Tabelle 15** Multizentrische Überprüfung der antibakteriellen Wirkung von Dentinadhäsiva

Adhäsivsysteme	Autoren
<i>In die eigenen Untersuchungen einbezogen</i>	
Clearfil Protect Bond	Kitasako et al (2004), Türkün et al. (2005), Gebauer (2006), Feuerstein et al. (2007), Gondim et al. (2008)
Clearfil SE Bond	Kitasako et al (2004), Gebauer (2006), Gondim et al. (2008)
Gluma Comfort Bond	Schmalz et al. (2004), Walter et al. (2007)
Prime & Bond NT	Atac et al. (2001), Imazato et al. (2002b), Schmalz et al. (2004), Schmidlin et al. (2003)
Syntac Classic	Herrera et al. (2000), Karanika-Kouma et al. (2001)
Xeno III	Türkün et al. (2005), Feuerstein et al. (2007), Gondim et al. (2008)
<i>In die eigenen Untersuchungen nicht einbezogen</i>	
ABF	Özer et al. (2003), Schmalz et al. (2004)
Primer & Bond 2.1	Imazato et al. (2002b), Kuramoto et al. (2005)
Scotchbond 1	Karanika-Kouma et al. (2001), Imazato et al. (2002a)
Liner Bond 2	Imazato et al. (2002a), Kuramoto et al. (2005)
Syntac SC	Imazato et al. (2002a), Schmidlin et al. (2003)
Single Bond	Imazato et al. (2002b), Herrera et al. (2000)

Tabelle 15 zeigt im Vergleich zu Tabelle 4 – der vorliegenden Auswahl der Produkte – dass bis heute nur wenige Adhäsiva hinsichtlich ihrer antibakteriellen Eigenschaften untersucht wurden und im Ergebnis auch als antibakteriell bestätigt werden konnten. Herstellerangaben dazu fehlen gewöhnlich.



Eine Ausnahme stellt das Adhäsivsystem Clearfil Protect Bond (Kuraray Europe) dar, dessen antibakterielle Eigenschaft vom Hersteller besonders hervorgehoben wird. Gerade dieses Präparat erwies sich vorliegend im Langzeittest über 7 Wochen insbesondere gegenüber Aktinomyzeten als antibakteriell. Gegenüber Laktobazillen war bis zu 5 Wochen und gegenüber Mutans-Streptokokken bis zu 6 Wochen eine antibakterielle Wirkung nachweisbar, die aber im Vergleich zum Anfangsbefund deutlich abfiel.

Bei der Vielzahl der hier untersuchten Adhäsiva darf im Ergebnis angenommen werden, dass eine antibakterielle Aktivität von Adhäsiva häufiger vorliegt als angenommen wird. Ob die in vitro nachgewiesene Wirkung auch in vivo zum Tragen kommt bleibt bislang für die Mehrzahl der Produkte wohl noch offen.

In einer Umfrage äußerte die Mehrzahl von 700 Zahnärzten den Wunsch nach einer antibakteriellen Kavitätenversorgung und schlossen dabei die Verwendung antibakterieller Adhäsiva ein (Redaktion 2004). Die Befragten wünschten diesbezüglich auch Forschungsansätze. Die Zahnärzte gaben an, bislang eine Kavitätendesinfektion mit Phosphorsäure (27%), Wasserstoffperoxid (21%), Chlorhexidin (17%), Alkohol (13%) und Wasser (7%) vorzunehmen, glaubten aber nicht an die Effizienz ihrer Maßnahmen. Desweiteren ist wissenschaftlich bewiesen, dass die Kavitätendesinfektion einen negativen Einfluss auf den Haftverbund und die Dauerfestigkeit ausübt (Ernst et al. 1999, Eberhard et al. 2008). 70% der Zahnärzte erwarteten deshalb Unterstützung durch die Industrie – zum Beispiel die Entwicklung von effizienten und antibakteriell wirkenden Adhäsiva (Redaktion 2004).

Die meisten Adhäsiva bedürfen einer Polymerisation. Vorliegend wurde für die Polymerisation eine LED-Lampe (Light Emitting Diodes; Free Light 2, 3M ESPE) (Abb. 2) der 2. Generation ausgewählt. Leistungsstarke LED-Lampen stellen eine realistische Alternative zur Halogen-Lampe dar. Nach Untersuchungen von Jeromin (2008) hat die LED-Technologie ähnliche Qualität wie Halogen beim adhäsiven Befestigen von Keramikrestorationen. Auch Lins (2008) konnte gleiche Ergebnisse bei Verwendung von LED- und Halogen-Polymerisationslampen bei der Aushärtung verschiedener Komposite registrieren. Von beiden Lampentypen wird blaues Licht in einem Wellenlängenbereich von 410 bis 490 nm emittiert, das den in den meisten Kompositen und Adhäsiva enthaltenen Photoinitiator Campherchinon bei einem Absorptionsmaximum von 468 nm optimal angeregt, um den Polymerisationszyklus zu starten (Uhl et al. 2003, Jung et al. 2006). Mit der für diese Studie ausgewählten LED-Lampe wird dieses Spektrum abgedeckt. Zusätzlich verringert die LED-Lampe auf

Grund geringerer Temperaturentwicklung während des Polymerisationsvorganges die Gefahr einer unphysiologischen Erwärmung der Pulpa und hat somit einen klaren Vorteil für die klinische Praxis (Knezevic et al. 2001, Uhl et al. 2003). Desweiteren konnte in Untersuchungen von Jandt et al. (2000) und Knezevic et al. (2001) kein signifikanter Unterschied bei der Polymerisation mit Halogen und LED-Lampen in Bezug auf die Polymerisationstiefe von Kompositen ermittelt werden. In einer Studie von Ernst et al. (2004) und Lins (2008) wurden klinisch ausreichende Aushärtiefen von Kompositen von beiden Polymerisationslampenarten erreicht. Diese Ergebnisse können auf Dentinadhäsiva übertragen werden. In der vorliegenden Studie wurde auch auf Grund des Inhaltstoffes Campherchinon – als Photoinitiator – die LED-Lampe der 2. Generation ausgewählt.

Nach Auswertung des Schrifttums wurden zur Polymerisation der Adhäsiva auf Rinderdentinscheiben, humanen Dentinscheiben und im Kavitätenmodell von Gebauer (2006), Schmalz et al. (2004) und Türkün et al. (2005) unterschiedliche Halogenlampen verwendet. Zur ausreichenden Polymerisationsleitung muss die Leistung über 400 mW pro cm<sup>2</sup> betragen (Lins 2008). Diese Leistung wird von der LED-Lampe Free Light 2 (3M ESPE) erreicht.

In der vorliegenden Studie wirkten 21 Adhäsivsysteme trotz einer Dentinbarriere von 0,7 bis 0,8 mm antibakteriell. Die Spannweiten der Hemmhöfe der einzelnen Bakterienstämme wurden bezogen auf die Gattung gemittelt betrachtet.

12 selbstätzende Adhäsiva zeigten nach 48 stündiger Bebrütung eine antibakterielle Wirkung im Bakterienrasen. Von 6 Adhäsiva (artCem One, iBond, Xeno III, Clearfil Liner Bond 2V, Clearfil Protect Bond und Resulcin AquaPrime+MonoBond) wurde eine antibakterielle Wirkung gegen alle Indikatorstämme festgestellt. G-Bond und Clearfil SE Bond wirkten gegenüber Streptokokken und Laktobazillen, go und Futurabond DC gegenüber Streptokokken und Aktinomyzeten, One Coat Self-Etching Bond gegenüber Laktobazillen und Aktinomyzeten und Adper Prompt-L-Pop nur gegenüber Streptokokken antibakteriell.

Bei den Hemmhofdurchmessern wurden Werte von minimal 11,8 mm (go und Resulcin AquaPrime+MonoBond) bis maximal 23,7 mm (Clearfil Protect Bond) bei den Streptokokken, von minimal 11,5 mm (Resulcin AquaPrime+MonoBond) bis maximal 16,7 mm (Clearfil Liner Bond 2V) bei den Laktobazillen und von minimal 12,5 mm (One Coat Self-Etching) bis maximal 27,7 mm (Clearfil Protect Bond) bei den Aktinomyzeten registriert (Abb. 3).

Desweiteren wurden von 9 totalätzenden Adhäsiva nach 48 stündiger Bebrütung bei 3 Adhäsivsystemen (Admira Bond, Clearfil Photo Bond und Cumdente Adhesive) eine antibakterielle Wirkung gegen alle Indikatorstämme festgestellt. Gluma Comfort Bond und Clearfil New Bond wirkten gegenüber Laktobazillen und Aktinomyzeten, Syntac Classic gegenüber Streptokokken und Aktinomyzeten, Ecusit – Primer Mono gegenüber Streptokokken, OptiBond Solo Plus gegenüber Laktobazillen und Gluma Solid Bond gegenüber Aktinomyzeten antibakteriell.

Bei den Hemmhofdurchmessern wurden Größen von minimal 13,3 mm (Ecusit) bis maximal 18,3 mm (Cumdente Adhesive) bei den Streptokokken, von minimal 12 mm (OptiBond Solo Plus) bis maximal 14,6 mm (Cumdente Adhesive) bei den Laktobazillen und von minimal 13,9 mm (Admira Bond) bis maximal 19,3 mm (Cumdente Adhesive) bei den Aktinomyzeten erreicht (Abb. 4).

Die Adhäsivsysteme Ecusit – Primer Mono, Gluma Solid Bond und Syntac Classic wirkten gegenüber Laktobazillen nicht antibakteriell. Diese Adhäsivsysteme stammen aus der Gruppe 2 (K+P+A) der Mehrschrittsysteme, bzw. Mehrflaschensysteme.

Bei beiden Systemen wurden Aktinomyzeten vor Streptokokken und Laktobazillen gehemmt. Die deutlich größeren Hemmhofdurchmesser der selbstätzenden Adhäsiva wurden von den totalätzenden Adhäsiva nicht erreicht.

Türkün et al. (2005) untersuchten die selbstätzenden Adhäsiva Xeno III und die Primerflüssigkeit von Clearfil Protect Bond auf humanen Dentinscheiben. Dabei wurde Xeno III sowohl polymerisiert als auch nicht polymerisiert in die Untersuchungen einbezogen. Nach Auflegen auf mit *S. mutans* inokulierten Mueller-Hinton-Agar wurden nach 48 Stunden Bebrütung um alle Dentinscheiben Hemmhöfe registriert. Einzig Xeno III kann unter Berücksichtigung der eingangs erläuterten methodischen Unterschiede zur Untermauerung der eigenen Ergebnisse herangezogen werden. Türkün et al. (2005) registrierten bei einem Durchmesser der Dentinscheibe von 4 mm und einer Dicke von 2 mm durch Xeno III einen Hemmhofdurchmesser von 8,67 mm. In den eigenen Untersuchungen lag er gegenüber *S. mutans* bei 16 mm (Tab. 11).

Das Ausmaß der antibakteriellen Wirkung kann nach Schmalz et al. (2004) von der Permeabilität des Dentins und der Diffusionsgeschwindigkeit der Adhäsivbestandteile abhängen. Die Viskosität der Dentinadhäsiva ist für die Diffusionseigenschaft von besonderer Bedeutung, da sie die Eindringtiefe der Inhaltsstoffe bestimmt. Einige Adhäsiva sind visköser und zum Teil auch mit hydrophoben Bestandteilen gefüllt.

Kleine hydrophile Monomere, wie z.B. HEMA, können wesentlich schneller diffundieren als die großen Methacrylate (Gerzina und Hume 1995, Bouillaguet et al. 1998, Kaga et al. 2001). HEMA und TEGDMA als Inhaltsstoffe von Adhäsivsystemen wurden von Schmalz et al. (2004) untersucht. Eine antibakterielle Wirkung konnte gegenüber *S. mutans*, *S. sobrinus* und *L. acidophilus* jedoch nicht festgestellt werden; auch die flüchtigen Lösungsmittel Aceton und Alkohol hatten keinen Einfluss, zumal sie nach dem Verblasen auch nicht mehr vorhanden sind.

Selbstätzende Dentinadhäsiva werden direkt nach der Kavitätenpräparation auf den Kavitätenboden aufgetragen. Dieser ist bei der iatrogenen Bearbeitung mit rotierenden Instrumenten von einer Schmierschicht und den darin enthaltenen Hydroxylapatiten, Kollagen sowie Blut- und Speichelbestandteilen und Mikroorganismen aus der Mundhöhle bedeckt (Eick et al. 1970, Pashley 1984). Durch die Schmierschicht wird die Permeabilität durch die verschlossenen Dentintubuli verringert und die Diffusion von Monomeren reduziert (Pashley et al. 1981). Stoffwechselprodukte von Bakterien können die Schmierschicht jedoch durchdringen (Bergenholtz 1981).

Zur Herstellung der 0,7 bis 0,8 mm dicken Dentinscheiben wurde ein diamantiertes Trennband mit einer Körnung von 53 bis 63 µm verwendet; in der Klinik kommen bei der Präparation einer Kavität diamantierte Schleifinstrumente mit einer Körnung von 100 bis 110 µm zum Einsatz. Vorliegend entstand auf der Oberfläche der Dentinscheibe ebenso eine praxisrelevante Schmierschicht, die rasterelektronenmikroskopisch dokumentiert wurde (Abb. 5).

Der Schritt der Säurekonditionierung im Sinne der Total-Ätz-Technik entfällt bei den selbstätzenden Adhäsiva. Die Schmierschicht wird von den selbstätzenden Adhäsivsystemen modifiziert und gleichzeitig sollen Monomere in das Kollagen eindringen und dabei die Schmierschicht in die Hybridschicht mit einpolymerisieren (Abb. 5). Eine gewisse Aggressivität von Säuren und sauren Primermonomeren wird vorausgesetzt; niedrige pH-Werte dürften in Übereinstimmung mit Imazato (2003), Schmidlin et al. (2003), Özer et al. (2003) und Türkün et al. (2005) der Grund für die Bakterienhemmung sein. Für die vorliegend untersuchten Adhäsiva konnten dies Seltsmann et al. (2008) in einer kürzlich abgeschlossenen Studie untermauern. Der pH-Wert muss gewöhnlich deutlich unter pH 3,0 liegen, um eine adäquate Hybridschicht ausbilden zu können (Tay und Pashley 2001). Hierbei werden vor allem organische Säuren (z.B. Maleinsäure, Carbonsäure und Sulfonsäure) eingesetzt. Die Säuren dringen in das Dentin ein und können im Vergleich zu In-vivo-Bedingungen

in vitro von Dentinscheiben nicht wegtransportiert und neutralisiert werden. Das könnte der Grund dafür sein, dass die selbstätzenden Adhäsiva zu größeren Hemmhofdurchmessern im Bakterienrasen führten als die totalätzenden Adhäsiva. Aber auch bei totalätzenden Adhäsiva werden organische Säuren, wie Malensäure, als Inhaltsstoff angegeben und dürften die antibakterielle Wirkung mit auslösen (Abb. 3 und 4).

Mikroorganismen sind basophil oder azidophil, lieben das saure oder alkalische Milieu bzw. werden umgekehrt in ihrem Wachstum durch alkalisches oder saures Milieu gehemmt. Extrem saure Primer inhibieren deshalb auch basophile Aktinomyzeten am stärksten in ihrem Wachstum; azidophile Laktobazillen werden im Vergleich zu Aktinomyzeten am wenigsten unterdrückt. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die pH-Wertabhängigkeit als einen bedeutsamen antibakteriellen Faktor.

Bei den totalätzenden Adhäsiva wird die Schmierschicht durch die Verwendung von 35 bis 40%iger Phosphorsäure entfernt. Nach Untersuchungen von Wicht et al. (2005) konnte allein durch Verwendung 35%iger Phosphorsäure für 15 Sekunden eine signifikante Reduktion verbliebener Mikroorganismen registriert werden. Auch Luglié et al. (1998) konnte eine signifikante Verminderung verbliebener Mikroorganismen nach Anwendung von 37%iger Phosphorsäure für 10 Sekunden beobachten.

Schmalz et al. (2001) und Galler et al. (2005) zeigten, dass sich die Säurekonditionierung auf die oberste Dentinschicht beschränkt; eine signifikante Zunahme der Permeabilität konnte erst bei Dentinschichtstärken von weniger als 0,3 cm registriert werden. Nach Abspülen der Säure werden die Komponenten der totalätzenden Adhäsiva aufgetragen und bilden nach Polymerisation die Hybridschicht aus. Lösliche Zusätze könnten dabei die Rolle der antibakteriellen Wirkung übernehmen.

Innerhalb der selbstätzenden und totalätzenden Adhäsiva kommen Fluoride als Inhaltsstoffe zum Einsatz, deren Bedeutung aber in der Steuerung der Remineralisation zu sehen ist. Von den in dieser Studie untersuchten 21 antibakteriell wirkenden Adhäsiva enthalten Clearfil Protect Bond, Ecusit-Primer Mono, Futurabond DC und Xeno III Fluorid als Inhaltsstoff. Bei den nicht antibakteriell wirkenden Adhäsivsystemen enthalten fünf Produkte Fluorid als Zusatz (Anhang Tab. 3 und 4).

MDP-haltige Adhäsivsysteme wie z.B. Clearfil Liner Bond 2V, Clearfil SE Bond, Clearfil New Bond und Clearfil Photo Bond zeigten in der vorliegenden Studie eine antibakterielle Wirkung im Bakterienrasen der Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten, die zuvor von Gebauer (2006) für Clearfil SE Bond gegenüber

Streptokokken nachgewiesen wurde. Auch Imazato et al. (2005) bestätigte eine antibakterielle Wirkung eines MDP-haltigen Adhäsivsystems.

Insgesamt gibt es bis heute Hinweise dafür, dass der antibakterielle Effekt von Adhäsiva auf antibakteriellen Zusätzen, wie MDPB (Imazato et al. 1997, 2005) und Glutaraldehyd (Scherer et al. 1990, Emilson und Bergenholtz 1993, Herrera et al. 2000, Schmidlin et al. 2003, Walter et al. 2007) basiert. MDPB-haltige Bondingsysteme können nach Kuramoto et al. (2005) einen protektiven antibakteriellen Effekt bei vorhandenem Randspalt haben.

Insgesamt wurde die antibakterielle Wirkung von MDPB-haltigen Adhäsivsystemen in vitro bei unterschiedlichem Vorgehen im Bakterienrasen von Laktobazillen, Streptokokken und Aktinomyzeten untermauert:

- Im Reservoir (Özer et al. 2003, Türkün et al. 2005, Feuerstein et al. 2007).
- Auf Papierplättchen polymerisiert und unpolymerisiert (Gondim et al. 2008, Schmalz et al. 2004, Imazato et al. 2005, Türkün et al. 2005, Gebauer 2006).
- Nach Dentinbarriere (Schmalz et al. 2004, Türkün et al. 2005, Gebauer 2006).
- Auf demineralisierten Dentinblöcken (Imazato et al. 2002b, 2005).
- Im Kavitätenmodell (Özer et al. 2003, Türkün et al. 2005).

Die Inhaltsstoffe der untersuchten Adhäsiva sind in den Anhangstabellen 3 und 4 enthalten, wobei die antibakteriell wirkenden Adhäsiva in Tabelle 3 aufgelistet sind. Bei Verwendung von humanen Dentinscheiben kann sklerotisches Dentin ein Störfaktor für die Diffusion sein und das Eindringen von Monomeren durch die reduzierte Säurewirkung einschränken. Für die vorliegende Studie wurden etwa 350 Zähne gesammelt. Eine exakte Altersbestimmung der Zähne war nicht möglich, da es sich auf Grund der Forderung nach Karies- und Füllungsfreiheit meist um retinierte Weisheitszähne handelte. Untersuchungen von Özer et al. (2005) wiesen aber darauf hin, dass das Alter des Zahnes keinen Einfluss auf die Qualität adhäsiver Verbindungen nimmt. Im pulpanahen Dentin kommen gehäuft deutlich größere Dentintubuli vor als im pulpafernen Dentin. In der Studie wurden koronale pulpanahe Dentinscheiben verwendet und die Diffusion von „Inhaltsstoffen“ durch Verwendung 1%iger Chlorhexidinlösung geprüft. Erwartungsgemäß konnte nach Auftragen der Lösung bei den Indikatorstämmen in allen Versuchen konstante Inhibitionszonen registriert werden. Von anderen Autoren wurden 0,2 bis 2%iges Chlorhexidin als Positivkontrolle verwendet (inter alia: Herrera et al. 2000, Imazato et al. 2002b, Gebauer 2006, Türkün et al. 2005 und Gondim et

al. 2008). Als Negativkontrolle wurde 0,9%ige NaCl-Lösung auf Dentinscheiben mitgeführt, die erwartungsgemäß das bakterielle Wachstum nicht beeinflusste.

Im Schrifttum fehlen Untersuchungen über eine mögliche antibakterielle Langzeitwirkung der Adhäsivsysteme. Einzig im Kavitätenmodell wurden Adhäsiva nach Polymerisation in mit *S. mutans* infizierten Kavitäten für 2 Tage nach provisorischem Verschluss belassen. Danach wurde die Überlebensrate von *S. mutans* überprüft (Ör et al. 2003, Türkün et al. 2005).

In der vorliegenden Studie wurde der Langzeitwirkung der aufgefundenen antibakteriellen Adhäsiva nachgegangen. Von den 21 antibakteriell wirkenden Adhäsivsystemen erwiesen sich 10 in einem Zeitraum von 2 Tagen bis 7 Wochen gegenüber sensiblen Stämmen immer noch als aktiv. Es wurden für diese Untersuchungen nur die Indikatorstämme eingesetzt, die in der Basisuntersuchung am stärksten gehemmt wurden (Tab. 11 und 12).

5 selbstätzende Dentinadhäsiva zeigten nach Polymerisation zwischen 2 Tagen (One Coat Self Etching), 4 Tagen (artCem One, iBond) und 6 Tagen (Xeno III) bis hin zu 7 Wochen (Clearfil Protect Bond) eine antibakterielle Wirkung gegenüber Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten. Die Hemmhöfe waren im Vergleich zu den Ausgangsbefunden am Basistag aber deutlich reduziert.

Bei 5 totalätzenden Dentinadhäsiva konnte eine antibakterielle Wirkung auch nach 2 Tagen (Gluma Comfort Bond) bis 4 Tagen gegenüber Aktinomyzeten (Clearfil Protect Bond, Clearfil Photo Bond, Gluma Solid Bond und Syntac Classic) sowie Streptokokken (Syntac Classic) registriert werden.

Welche Inhaltsstoffe – darunter Säuren, Glutaraldehyd, MDPB oder MDP – für die Langzeitwirkung verantwortlich sind, kann hier nicht beantwortet werden (Anhang Tab. 3 und 4). Letztlich war die Wirkung zeitlich limitiert. Eine mögliche Ursache dafür dürfte nach der Diffusion der Inhaltsstoffe durch die Dentinbarriere der Verbrauch oder Abbau im Kulturmedium sein. Unterschiede in der Wirksamkeit dürften auch auf die unterschiedliche Zusammensetzung der einzelnen Produkte zurückzuführen sein, die vom Hersteller häufig nicht bekannt gegeben werden. Darüber hinaus besteht nicht die Pflicht, niedrige Konzentrationen von einzelnen Substanzen anzugeben.

Da Aktinomyzeten aber am längsten von der antibakteriellen Wirkung betroffen waren, könnte der pH-Wert eine wichtige Rolle gespielt haben.

## 7 **Fassfuegung**

Ziel der vorliegenden Arbeit war es der Frage nachzugehen, inwieweit Dentinadhäsiva durch ihre unterschiedlichen Inhaltsstoffe auch in der Lage sind, am Kavitätenboden restierende Keime antibakteriell zu beeinflussen. Der Dentin-Agar-Hemmhoftest sollte Verwendung finden und relevante Stämme von Streptokokken, Laktobazillen und Aktinomyzeten.

55% der 38 marktführenden Adhäsivsysteme erwiesen sich in vitro als antibakteriell.

Neben antibakteriellen Inhaltsstoffen wie Glutaraldehyd und MDPB könnte vor allem der niedrige pH-Wert der Adhäsiva für die antibakterielle Wirkung verantwortlich sein. Azidogene und azidurische Keime (Streptokokken >Laktobazillen) wurden am wenigsten im Wachstum unterdrückt und basophile Keime (Aktinomyzeten) am stärksten. Eine Dentinbarriere lag in vitro nicht vor.

Der Zahnarzt kann folglich bei über der Hälfte der auf dem Dentalmarkt am häufigsten verkauften und hier untersuchten Dentinadhäsiva mit einer antibakteriellen Wirkung rechnen und darüber hinaus bei Verwendung von artCem One, iBond, Xeno III, One Coat Self-Etching, Clearfil Protect Bond, Clearfil New Bond, Clearfil Photo Bond, Gluma Comfort Bond, Gluma Solid Bond und Syntac Classic gegenüber Laktobazillen, Streptokokken und Aktinomyzeten eine antibakterielle Langzeitwirkung von zwei Tagen bis hin zu 7 Wochen erwarten; die Langzeitwirkung richtet sich insbesondere gegen Mutans-Streptokokken und Aktinomyzeten.



## 8 Literaturverzeichnis

1. Atac AS, Cehreli Z, Sener B. 2001. Bacterial activity of fifth-generation dentin bonding systems. *J Endod*, 27:730-733.
2. Baake K. 2003. Zur Säureproduktion und Säuretoleranz ausgewählter oraler Laktobazillen [Dissertation]. Jena: Friedrich-Schiller-Universität.
3. Batty I. 1958. *Actinomyces odontolyticus*, a new species of *Actinomyces* isolated from deep carious dentine. *J Pathol Bacteriol* 75:455-459.
4. Bauer H. 2004. Säureproduktion und Säuretoleranz oraler Aktinomyzeten [Dissertation]. Jena: Friedrich-Schiller-Universität.
5. Bauer AW, Kirby WM, Sherris JC, Turck M. 1966. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single method. *Am J Clin Pathol*, 45:493-496.
6. Bergenholtz G. 1981. Inflammatory response of the dental pulp to bacterial irritation. *J Endod*, 7:100-4.
7. Bjørndal L, Larsen T, Thylstrup A. 1997. A clinical and microbiological study of deep carious lesions during stepwise excavation using long treatment intervals. *Caries Res*, 31:411-417.
8. Bjørndal L, Larsen T. 2000. Changes in the cultivable flora in deep carious lesions following a stepwise excavation procedure. *Caries Res*, 34:502-508.
9. Black GV. 1914. *Konservierende Zahnheilkunde*. Berlin: Meusser Verlag.
10. Blunck U. 2004. Sichere Langzeitergebnisse bei Einhaltung der Arbeitsschritte. *DZW-Spezial*, 3:6-13.
11. Blunck U. 2005. Marktübersicht Adhäsivsysteme. *Zahn Praxis*, 8:14-24.
12. Blunck U. 2007. Adhäsivsysteme - Übersicht und Hinweise zur Anwendung. *wissen kompakt*, 3:15-26.
13. Bondi A, Spauling H, Smith D. 1947. A routine method for the rapid determination of susceptibility to penicillin and other antibiotics. *Amer J Med Sci*, 213:221-225.
14. Bouillaguet S, Virgillito M, Wataha J, Ciucchi B, Holz J. 1998. The influence of dentine permeability on cytotoxicity of four dentine bonding systems, in vitro. *J Oral Rehab*, 25:45-51.
15. Brunthaler A, König F, Lucas T, Sperr W, Schedle A. 2003. Longevity of direct resin composite restorations in posterior teeth. *Clin Oral Invest*, 7:63-70.
16. Buchmann G, Klimm W, Geurtsen WF. 1992. Der Füllungsrandspalt und dessen ökologische Bedeutung. *Dtsch Zahnärztl Z*, 47:188-191.

17. Buonocore MG. 1955. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res*, 34 (6):849-853.
18. Carlsson J, Grahnén H, Johnsson D. 1975. Lactobacilli and Streptococci in the mouth of children. *Caries Res*, 9:333-339.
19. Dijkman GE, de Vries J, Arenda I. 1992. Effect of glutardialdehyde on secondary caries in situ. *Caries Res*, 26:293-8.
20. Dunn JR. 2003. iBond: the seventh-generation, one-bottle dental bonding agent. *Compend Contin Educ Dent*, 24 (2 Suppl):14-18.
21. Eberhard J, Schneider C, Drosos Z, Calic I, Kern M, Dörfer C. 2008. Kavitäten-desinfektionsmaßnahmen haben einen negativen Einfluss auf die marginale Adaptation von Dentinadhäsiven. Abstract 0023. 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung e.V., 5. -7. Juni 2008, Würzburg.
22. Edwardsson S. 1974. Bacteriological studies on deep areas of carious dentine. *Odontol Revy*, 25:1-143.
23. Eick JD, Wilko RA, Anderson CH, Sorensen SE. 1970. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *J Dent Res*, 49:1359-1368.
24. Emilson CG, Krasse B, Westergren G. 1976. Effect of a fluorid-containing chlorhexidine gel on bacteria in human plaque. *Scand J Dent*, 84:56-62.
25. Emilson CG. 1977. Susceptibility of various microorganisms to chlorhexidine. *Scand J Dent Res*, 85:255-265.
26. Emilson CG, Bergenholtz G. 1993. Antibacterial activity of dentinal bonding agents. *Quintessence Int*, 24:511-515.
27. Ergücü Z, Hiller KA, Schmalz G. 2005. Influence of dentin on the effectivity of antibacterial agents. *J Endod*, 31:124-129.
28. Ernst CP, Post M, Willershausen B. 1999. Der Einfluß der Kavitäten-desinfektion auf den Haftverbund von Dentinadhäsiven. *Dtsch Zahnärztl Z*, 54:124.
29. Ernst CP. 2001. Was Sie schon immer über Dentinadhäsive wissen wollten. *Magazin für Zahnheilkunde, Management und Kultur*, 17:254-269.
30. Ernst CP, Meyer GR, Muller J, Stender E, Ahlers MO, Willershausen B. 2004. Depth of cure of LED vs QTH light-curing devices at a distance of 7 mm. *J Adhes Dent*, 6:141-50.
31. Fraga RC, Siqueira JF, de Uzeda M. 1996. In vitro evaluation of antibacterial effects of photo-cured glass ionomer liners and dentin bonding agents during setting. *J Prosthet Dent*, 76:483-486.

- 
32. Felton D, Bergenholtz G, Cox CF. 1989. Inhibition of bacterial growth under composite restorations following GLUMA pretreatment. *J Dent Res*, 68 (3): 491-495.
  33. Feuerstein O, Matalon S, Slutzky H, Weiss EI. 2007. Antibacterial properties of self-etching dental adhesive systems. *JADA*, 138: 349-354.
  34. Friedl KH, Schmalz G, Hiller KA. 1992. Flüssigkeitskulturen zur Prüfung der Wirkung zahnärztlicher Werkstoffe auf das Bakterienwachstum. *Dtsch Zahnärztl Z*, 47:826-831.
  35. Gaberoglio R, Brännström M. 1976. Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules. *Arch Oral Biol*, 21:355-362.
  36. Galler K, Hiller KA, Ettl T, Schmalz G. 2005. Selective influence of dentin thickness upon cytotoxicity of dentin contacting material. *J Endod*, 31:396-299.
  37. Gebauer M. 2006. Die Zeitabhängigkeit der antibakteriellen Wirkung von zahnärztlichen Bonding-Systemen. [Dissertation]. Regensburg: Universität Regensburg.
  38. Gerzina TM, Hume WR. 1995. Effect of hydrostatic pressure on the diffusion of monomers through dentin in vitro. *J Dent Res* 74: 369-373.
  39. Gondim JO, Duque C, Hebling J, Giro E. 2008. Influence of human dentine on the antibacterial activity of self-etching adhesive systems against cariogenic bacteria. *J of Dentistry*, 36:241-248.
  40. Haller B. 1997. Einkomponenten-Adhäsive – Aktueller Entwicklungsstand. *Dtsch Zahnärztekalendar*. München: Hanser, 169-188.
  41. Haller B. 2000. Recent development in dentin bonding. *Am J Dent*, 13:44-50.
  42. Haller B, Blunck U. 2003. Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme. *Zahnärztl Mitt*, 93:808-818.
  43. Hansel C, Leyhausen G, Mai UEH, Geurtsen W. 1998. Effects of various resin composite (co)monomers and extracts on two caries-associated microorganisms in vitro. *J Dent Res*, 77 (1):60-67.
  44. Hartung J. Hrsg. 1995. Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. Zehnte Aufl. München: Oldenbourg-Verlag.
  45. Heidemann D, Hellwig E, Hickel R, Klaiber B und Steahle, HJ. 2003. Direkte Kompositrestauration – Erweiterte Anwendung im Front- und Seitenzahngebiet. *Dtsch Zahnärztl Z*, 58:387-388.
  46. Heinrich R, Kneist S, Künzel W. 1991. Klinisch kontrollierte Untersuchung zur Caries-profunda-Therapie. *Dtsch Zahnärztl Z*, 46:581-584.

47. Hellwig E, Klimek J, Attin T. 2003. Einführung in die Zahnerhaltung. Dritte Aufl. München, Jena: Urban und Fischer Verlag, 3-6.
48. Herrera M, Carrión P, Bravo M, Castillo A. 2000. Antibacterial activity of four dentin bonding systems. *Int J Antimicrob Agents*, 15:305-309.
49. Heyman HO, Sturdevant JR, Brunson WD, Wilder AD, Sluder TB, Bayne SC. 1988. Twelve-month clinical study of dentinal adhesives in class V cervical lesions. *J Am Dent Assoc*, 116:179-183.
50. Hickel R, Ernst HP, Haller B, Hugo B, Kunzelmann KH, Merte K, Ott K, Schmalz G, Staehle HJ. 2005. Direkte Kompositrestauration im Seitenzahnbereich – Indikation und Lebensdauer. *Dtsch Zahnärztl Z*, 60:543-545.
51. Ho CCK. 2007. Der zentripetal geschichtete Aufbau einer direkten Kompositversorgung im Seitenzahnbereich. *Dentalfresh*, 4:20-22.
52. Imazato S, Torii M, Tsuchitani Y, McCabe JF, Russell RR. 1994. Incorporation of bacterial inhibitor into resin composite. *J Dent Res*, 73:1437-1443.
53. Imazato S, Kinomoto Y, Tarumi H, Torii M, Russell RR, McCabe JF. 1997. Incorporation of antibacterial monomer MDPB into dentin primer. *J Dent Res*, 76(3):768-772.
54. Imazato S, Ehara A, Torii M, Ebisu S. 1998. Antibacterial activity of dentine primer containing MDPB after curing. *J Dent*, 26(3):267-271.
55. Imazato S, Ebi N, Tarumi H, Russell RRB, Kaneko T, Ebisu S. 1999. Bactericidal activity and cytotoxicity of antibacterial monomer MDPB. *Biomaterials*, 20:899-903.
56. Imazato S, Torii Y, Takatsuka T, Inoue K, Ebi N, Ebisu S. 2001. Bactericidal effect of dentin primer containing antibacterial monomer methacryloyloxydodecylpyridinium bromide (MDPB) against bacteria in human carious dentin. *J Oral Rehabil*, 28:314-319.
57. Imazato S, Walls A, Kuramoto A, Ebisu S. 2002a. Penetration of antibacterial dentine-bonding system into demineralized human root dentine in vitro. *Eur J Oral Sci*, 110:168-174.
58. Imazato S, Kuramoto A, Kaneko T, Ebisu S, Russell RR. 2002b. Comparison of antibacterial activity of simplified adhesive systems. *Am J Dent*, 15:356-360.
59. Imazato S. 2003. Antibacterial properties of resin composites and dentin bonding systems. *Dent Mater* 19:449-57.
60. Imazato S, Kaneko T, Takahashi Y, Noiri Y, Ebisu S. 2004. In vivo antibacterial effects of dentin primer incorporating MDPB. *Oper Dent*, 29:369-375.

61. Imazato S, Kuramoto A, Takahashi Y, Ebisu S, Peters MC. 2005. In vitro antibacterial effects of the dentin primer of Clearfil Protect Bond. *Dent Mat*, 22:527-532.
62. Jandt KD, Mills RW, Blackwell GB, Ashworth SH. 2000. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). *Dent Mater*, 16:41-47.
63. Jendresen MD, Glantz PO, Baier RE, Eick JD. 1981. Microtopography and clinical adhesiveness of an acid etched tooth surface. An in-vivo study. *Acta Odontol Scand*, 39 (1):47-53.
64. Jeromin M. 2008. Befestigungsmaterialien nach Polymerisation durch Keramik hindurch [Dissertation]. Marburg: Philipps-Universität Marburg.
65. Jung H, Friedl KH, Hiller KA, Furch H, Bernhart S, Schmalz G. 2006. Polymerization efficiency of different photocuring units through ceramic discs. *Oper Dent*, 31:68-77.
66. Karanika-Kouma A, Dionysopoulos P, Koliniotou-Koubia E, Kolokotronis A. 2001. Antibacterial properties of dentin bonding systems, polyacid-modified composite resins and composite resins. *J Oral Rehabil*, 28:157-160.
67. Kelstrup J, Gibbons RJ. 1969. Bacteriocins from human and rodent Streptococci. *Arch Oral Biol*, 14:251-258.
68. Kenshima S, Francci C, Reis A, Loguercio AD, Filho LE. 2006. Conditioning effect on dentin, resin tags and hybrid layer of different acidity self-etching adhesives applied to thick and thin smear layer. *J Dent*, 34:775-785.
69. Kidd EA, Jouston-Bechal S, Beighton D. 1993. The use of a caries detector dye during cavity preparation: a microbiological assessment. *Br Dent J*, 174:245-248.
70. Kidd EA. 2001 Diagnosis of secondary caries. *J Dent Educ*, 65:997-1000.
71. Kneist S, Heinrich R, Künzel W. 1989. Mikrobielle Besiedelung kariöser Progressionstadien im Dentin menschlicher Zähne – eine kontrollierte Therapiestudie. *Ztb Bakt Hyg* 26: 385-395.
72. Kneist S, Heinrich R, Künzel W. 1990. Mikrobielle Besiedelung des pulpanahen Dentins bleibender Zähne nach Caries-profunda-Therapie. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd*, 78:695-698.
73. Knezevic A, Tarle Z, Meniga A, Sutalo J, Pichler G, Ristic M. 2001. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. *J Oral Rehab*, 28:586-591.
74. Kuramoto A, Imazato S, Walls AWG, Ebisu S. 2005. Inhibition of root caries progression by an antibacterial adhesive. *J Dent Res*, 84(1):89-93.

- 
75. Liedtke B. 2003. Untersuchung zur Totalsynthese des triterpenoiden Grundgerüsts anellierter Ringe nach dem Vorbild des Antibiotikums Fusidinsäure [Dissertation]. Jena: Friedrich-Schiller-Universität.
  76. Lins S. 2009. Halogen-, LED- oder Plasmalicht? Eine werkstoffkundlich-experimentelle Studie zur Photopolymerisation ausgewählter Komposite. tzb, 1:18.
  77. Luglié PF, Delitala PP, Zanetti S, Sanna S. 1998. An in-vivo bacteriological study on the effects of acid etching at the bottom of cavities. Minerva Stomatol, 42:19-26.1998
  78. Lutz F, Krejci I, Schupbach P. 1993. Adhäsivsysteme für zahnfarbene Restaurationen. Eine Übersicht. Schweiz Monatsschr Zahnmed, 103:537-549.
  79. Loesche WJ. 1986. Role of Streptococcus mutans in human dental decay. Microbiol Rev, 50:353-380.
  80. Lösche GM, Blunck U. 1988. Die Schmelz-Ätz-Technik. Zahnärztl Welt, 97:838-841.
  81. Manhart J. 2000. Schmelz- und Dentinadhäsive: Überblick, Einflussfaktoren, Trends. COLLEGmagazin, Zahnarzt-Wirtschaft-Praxis, 6:136-141.
  82. Meiers JC, Miller GA. 1996. Antibacterial activity of dentin bonding systems, resin-modified glass-ionomers, and polyacid-modified composite resin. Oper Dent, 21:257-64.
  83. Munksgaard EC, Asmussen E. 1984. Bond strength between dentin and restorative resins mediated by mixtures of HEMA and glutaraldehyde. J Dent Res, 63:1087-1089.
  84. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. 1982. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. J Biomed Mat, 16:265-273.
  85. Ohmori K, Maeda N, Kohno A. 1999. Evaluation of antibacterial activity of three dentin primers using an in vitro tooth model. Oper Dent, 24:279-285.
  86. Özer F, Karakaya S, Ünlü N, Erganis O, Kav K, Imazato S. 2003. Comparison of antibacterial activity oft two dentin bonding systems using ager well technique and tooth cavity model. J Dent, 31:111-116.
  87. Pashley DH, Michelich V, Kehl T. 1981. Dentin permeability: effects of smear layer removal. J Prosthet Dent, 46:531-537.
  88. Pashley DH. 1984. Smear layer: physiological considerations. Oper Dent, 3:13-29.

- 
89. Phrukkanon S, Burrow MF, Hartley PG, Tays MJ. 2000. The influence of the modification of etched bovine dentin on bond strengths. *Dent Mater*, 16:255-65.
  90. Pioch T. 2001. Das Phänomen der Nanoleakage am Komposit-Dentin-Übergang bei Anwendung von Adhäsiven. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 111:725-732.
  91. Rathke A, Alt A, Gambin N, Haller B. 2007. Dentin diffusion of HEMA released from etch-and-rinse and self-etch bonding systems. *Eur J Oral Sci*, 115:510-516.
  92. Redaktion. 2004. Trend: Protektive Füllungstherapie. *DZ*, 6:58-59.
  93. Retief DH. 1992. Clinical applications of enamel adhesives. *Oper Dent*, 17 (Suppl 5):44-49.
  94. Ritter AV, Bertoli C, Swift EJ, Jr. 2001a. Dentin bond strengths as a function of solvent and glutaraldehyde content. *Am J Dent*, 14:221-6.
  95. Ritter AV, Swift EJ, Jr, Yamauchi M. 2001b. Effects of phosphoric acid and glutaraldehyde-HEMA on dentin collagen. *Eur J Oral Sci*, 109:348-353.
  96. Sano H, Yoshimama M, Ebisu S, Burrow MF, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, Pashley DH. 1995. Comparative SEM and TEM observations of nanoleakage within the hybrid layer. *Oper Dent*, 20 (4):160-167.
  97. Scharff S. 2004. Zur Bacteriocinproduktion von Mutans-Streptokokken [Dissertation]. Jena. Friedrich-Schiller-Universität.
  98. Schäfer E. 1999a. Geschichtliche Entwicklung, Klassifizierung und Haftungsmechanismen der Dentinadhäsive. Teil 1: Grundlagen der Dentinadhäsion und Adhäsive der 1. bis zur 3. Generation. *ZWR*, 4:218-225.
  99. Schäfer E. 1999b. Geschichtliche Entwicklung, Klassifizierung und Haftungsmechanismen der Dentinadhäsive. Teil 2: Von der Einführung der 4. Generation bis zu den sogenannten Ein-Schicht-Adhäsiven. *ZWR*, 5:306-311.
  100. Schäfer E. 1999c. Geschichtliche Entwicklung, Klassifizierung und Haftungsmechanismen der Dentinadhäsive. Teil 3: Aktuelle Konzepte der Dentinadhäsion. *ZWR*, 6:390-396.
  101. Scherer W, Cooper H, Antonelli J. 1990. Antimicrobial properties of dental dentin-enamel adhesives. *J Esthet Dent*, 2:140-141.
  102. Schmalz G, Hiller KA, Nunez LJ, Stoll J, Weis K. 2001. Permeability characteristics of bovine and human dentin under different pretreatment conditions. *J Endod*, 27:23-30.
  103. Schmalz G, Ergücü Z, Hiller KA. 2004. Effect of dentin on the antibacterial activity of dentin bonding agents. *J Endod*, 30:352-358.

- 
104. Schmalz G, Arenholt-Bindslev D. 2005. Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe. Erste Aufl. München: Urban und Fischer Verlag, 100-124.
  105. Schmalz G, Geurtsen W, Arenholt-Bindslev D. 2006. Die Biokompatibilität von Komposit-Kunststoffen. Zahnärztl Mitt, 3:34-42.
  106. Schmidlin OA, Zehnder M, Schmidlin PR. 2003. Effectiveness of dentine bonding agents against cariogenic bacteria in vitro: a comparison of two methods. Oral Microbiol Immunol, 18:140-143.
  107. Schroeder HE. 1992. Orale Strukturbiologie. 4.überarbeitete Aufl. Stuttgart: Thieme-Verlag.
  108. Seichter U.1987. Root surface caries: a critical literature review. JADA, 115:305-310.
  109. Seltmann G, Glockmann E, Kneist S. 2008. Antibakterielle Wirkung von Adhäsiva im Agar-Hemmhoftest. 8. Friedrich-Ludwig-Hesse-Symposium für Studenten und junge Wissenschaftler Oktober 2008, Leipzig.
  110. Stanley HR. 1992. Pulpal responses to conditioning and bonding agents. Oper Dent, Supplement 5:151-164.
  111. Tay FR, Pashley DH. 2001. Aggressiveness of contemporary self-etching systems. I: Depth of penetration beyond dentin smear layers. Dent Mater, 17:296-308.
  112. Tay FR, Ehrensberger C. 2003. Dentinadhäsive – Status und Zukunft. Magazin für Zahnheilkunde, Management und Kultur, 19:432-435.
  113. Türkün LS, Ates M, Türkün M, Uzer E. 2005. Antibacterial activity of two adhesive systems using various microbiological methods. J Adhes Dent, 7:315-320.
  114. Uhl A, Mills RW, Jandt KD. 2003. Polymerization and light-induced heat of dental composites cured with LED and halogen technology. Biomaterials, 24:1809-1820.
  115. Walter R, Duarte WR, Pereira PNR, Heymann HO, Swift Jr EJ. 2007. In vitro inhibition of bacterial growth using different dental adhesive systems. Oper Dent, 32-4:388-393.
  116. Wicht MJ, Haak R, Kneist S, Noack MJ. 2005. A triclosan-containing compomer reduces Lactobacillus spp. predominant in advanced carious lesions. Dent Mater, 21:831-836.
  117. Wiegand J, Göbel R, Welker D, Pfister W, Eick S. 2006. Zytotoxische und antibakterielle Aktivität von Dentinadhäsiven und deren Inhaltsstoffen. Autoreferat 1. 7. Friedrich-Ludwig-Hesse-Symposium für Studenten und junge Wissenschaftler Oktober 2006, Leipzig.



- 
118. Wollmarker BD. 1999. Das Spektrum der adhäsiven Restaurationsmöglichkeiten. *Magazin für Zahnheilkunde, Management und Kultur*, 5274-276.
  119. van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. 1992. Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res*, 71:1530-1540.
  120. van Meerbeek B, Dhem A, Goret-Nicaise M, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. 1993. Comparative SEM and TEM examination of the ultrastructure of resin-dentin interdiffusion zone. *J Dent Res*, 72:495-501.
  121. van Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. 1994. Dentinhaftung: Mechanismus und klinische Resultate. *Dtsch Zahnärztl Z*, 49:977-984.

---

## **9     Anhang**

**Tabelle 1:** Batch-Nummern und Verfallsdatum der getesteten Adhäsiva

<b>Hersteller</b>	<b>Adhäsivsystem</b>	<b>Batch – Nr.</b>	<b>Verfallsdatum</b>
Coltène® Whaledent	A.R.T. BOND	LOT 0116308	2009 - 02
	ONE COAT BOND	LOT 0111669	2009 - 08
	One Coat Self-Etching Bond	LOT 0115951	2009 - 02
Cumdente	Cumdente Adhesive		
	Activator	LOT 5610656	2008 - 12
	Adhesive	LOT 5605383	2008 - 09
Dentsply	XP- Bond	LOT 0608001886	2008 - 03
	Xeno® III	LOT 0604002120	2008 - 02
	Prime&Bond® NT	LOT 0606002208	2009 - 03
DMG GmbH	Ecusit®-Primer Mono	LOT 564001	2009 - 03
	Contax®	LOT 579517	2009 - 02
	TECO®	LOT 582047	2009 - 03
GC EUROPE N.V.	G-BOND™	LOT 0703081	2009 - 03
Heraeus Kulzer	iBond	LOT 010080	2008 - 04
	GLUMA® Solid Bond	LOT 261002	2008 - 10
	GLUMA® Comfort® Bond	LOT 010074	2008 - 07
Ivoclar Vivadent	Syntac Classic	LOT H28657	2008 - 01
	Excite®	LOT G09632	2006 - 10
	AdheSE®		
Kerr	OptiBond® All In One	LOT 2712376	2008 - 06
	OptiBond® FL	LOT 2709121	2008 - 04
	OptiBond® Solo™ Plus	LOT 2701026	2008 - 11
Kuraray Europe	CLEARFIL™ SE Bond	LOT 41514	2008 - 11
	CLEARFIL® NEW BOND	LOT 41215	2009 - 01
	CLEARFIL® PHOTO BOND	LOT 41205	2009 - 01
	CLEARFIL® LINER BOND 2V	LOT 41134	2008 - 10
	CLEARFIL PROTECT BOND	LOT 61112	2005 - 12
Merz Dental	artCem® One	LOT 5505841	2008 - 12
	Resulcin® AquaPrime + MonoBond	LOT 571995	2008 - 08
3M Espe	Adper Prompt L-Pop™	LOT 255872	2008 - 07
	Adper Scotchbond 1 XT	LOT 20060829	2007 - 09
	Adper Scotchbond MP	LOT 20060621	2009 - 02
SDI Southern Dental	frog	LOT 068948	2008 - 08
	paama 2	LOT 070085	2008 - 12
	go	LOT 061205	2008 - 12
VOCO GmbH	Solobond M	LOT 700451	2009 - 05
	Futurabond NR	LOT 480398	2006 - 10
	Futurabond DC	LOT 710496	2009 - 02
	Solobond Plus	LOT 691841	2008 - 12
	Admira Bond	LOT 700902	2009 - 04

**Tabelle 2:** In den Dentin-Agar-Hemmhoftest einbezogene Adhäsiva und Herstellerangaben zur Anwendung

Adhäsivsystem	Hersteller	Anwendung
<b>Selbstätzende Adhäsiva</b>		
<b>KPA<sup>1</sup></b>		
Adper Prompt L-Pop™	3M Espe	15 s unter Druck einmassieren, verblasen, verblasen, 2. Schicht auftragen, verblasen, 10 s lichthärten (Halogen oder LED)
artCem® One	Merz Dental	20 s einmassieren, 10 s verblasen, 20 s lichthärten (Halogen oder LED)
G-BOND™	GC EUROPE N.V.	20 s einwirken lassen, 5 s verblasen, 10 s lichthärten (Halogen oder LED)
go	SDI Southern Dental	20 s leicht einmassieren, 5-10 s verblasen, 20 s lichthärten (Halogen oder LED)
iBond	Heraeus Kulzer	20 s leicht einmassieren, 5-10 s verblasen, 20 s lichthärten (Halogen oder LED)
OptiBond® All In One	Kerr	20 s unter Druck einmassieren, 2. Schicht auftragen, 5 s verblasen, 10 s lichthärten (Halogen oder LED)
Xeno® III	Dentsply	je 1 Tropfen miteinander vermischen, 20 s einwirken lassen, 2 s sanft verblasen, 10 s lichthärten (Halogen oder LED)
<b>KP+A<sup>2</sup></b>		
AdheSE®	Ivoclar Vivadent	Primer 15 – 30 s einmassieren, stark verblasen, Bond auftragen, sanft verblasen, 10 s Lichthärten (Leistung: > 400mW/cm <sup>2</sup> )
A.R.T. BOND	Coltène® Whaledent	Primer A+B 5 s mischen, 30 s einmassieren, verblasen, Bond 20 s einmassieren, 20 s lichthärten (Halogen oder LED)
CLEARFIL® LINER BOND 2V	Kuraray Europe CLiBo1*	Primer A+B mischen, 30 s einmassieren, sanft verblasen, Bond A auftragen, sanft verblasen, 20 s lichthärten
	CLiBo2**	Primer A+B mischen, 30 s einmassieren sanft verblasen, Bond A+B mischen, auftragen, verblasen, 20 s lichthärten
CLEARFIL PROTECT BOND	Kuraray Europe	Primer für 20 s einmassieren, 20 s verblasen, Bond auftragen und verblasen, 10 s lichthärten (Wellenlänge: 400-515nm)
CLEARFIL™ SE BOND		Primer 20 s einmassieren, 20 s verblasen, Bond auftragen, leicht verblasen, 10 s lichthärten
Contax®	DMG GmbH	Primer 20 s einmassieren, Bond 20 s einmassieren, dünn verblasen, 20 s lichthärten (Wellenlänge > 450nm)
Futurabond DC	VOCO GmbH	Liquid 1+2 mischen, 20 s einmassieren, 5 s verblasen, 10 s lichthärten (Halogen oder LED)

Fortsetzung siehe nächste Seite

KPA Konditionierer, Primer, Adhäsiv; KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv

<sup>1</sup>Einflaschensystem, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem; \*lichthärtend, \*\*dualhärtend

**Fortsetzung Tabelle 2:** In den Dentin-Agar-Hemmhofstest einbezogene Adhäsiva und Herstellerangaben zur Anwendung

Adhäsivsystem	Hersteller	Anwendung
Futurabond NR		Liquid A+B 5 s mischen, 20 s einmassieren, 5 s verblasen, 10 s lichthärten (Halogen oder LED)
frog	SDI Southern Dental	Primer 20 s einmassieren, sanft verblasen, Bond auftragen, verblasen, 10 s lichthärten (Halogen oder LED)
One Coat Self - Etching	Coltène® Whaledent	Primer 20 s einmassieren, 2 s verblasen, Bond 20 s einmassieren, 2 s sanft verblasen, 20 s lichthärten (Halogen oder LED)
Resulcin® AquaPrime+ MonoBond	Merz Dental	1:1 Primer mit Aqua conservans mischen, 20-30 s einmassieren, sanft verblasen, Bond auftragen, sanft verblasen, 30 s lichthärten
<b>Totalätzende Adhäsiva K+PA<sup>1</sup></b>		
Adper Scotchbond 1XT	3M Espe	Säureapplikation Schmelz 30 s, Dentin 15 s 10 s abspülen, leicht trocknen, Bond 15 s 2-3 mal auftragen und sanft einmassieren, sanft verblasen, 10 s lichthärten (Halogen oder LED)
Admira Bond	VOCO GmbH	Säureapplikation Schmelz 30 s, Dentin 15 s 20 s abspülen, leicht trocknen, Bond 30 s einmassieren, sanft verblasen, 20 s lichthärten (Halogen oder LED)
CLEARFIL® NEW BOND	Kuraray Europe	Säureapplikation Schmelz 30 s, Dentin 15 s, 20 s abspülen, trocknen, Adhäsiv 1:1 mischen, auftragen, sanft verblasen, chemisch härtend
CLEARFIL® PHOTO BOND		Säureapplikation Schmelz 30 s, Dentin 15 s, 20 s abspülen, trocknen, Bond und Aktivator 1:1 mischen, auftragen, 3 s sanft verblasen, 10 s lichthärten (Halogen oder LED)
Cumdente Adhesive	Cumdente	Säureapplikation Schmelz 30 s, Dentin 15 s, 20 s abspülen, kurz trocknen, Adhäsiv 60 s einmassieren, kurz verblasen, 20 s lichthärten (400-515nm), verblasen
Excite®	Ivoclar Vivadent	Säureapplikation (Schmelz 30s, Dentin 15s) 5 s kräftig abspülen, leicht trocknen, Bond 10 s einmassieren, sanft verblasen, 20 s lichthärten (Halogen, LED oder Plasma)
GLUMA® Comfort® Bond	Heraeus Kulzer	Säureapplikation für 20 s, abspülen, sanft trocknen, Adhäsiv 3 mal auftragen 15 s warten, sanft verblasen, 20 s lichthärten

Fortsetzung siehe nächste Seite

K+PA Konditionierer und Primer, Adhäsiv, <sup>1</sup>Einflaschensystem

**Fortsetzung Tabelle 2:** In den Dentin-Agar-Hemmhofstest einbezogene Adhäsiva und Herstellerangaben zur Anwendung

Adhäsivsystem	Hersteller	Anwendung
ONE COAT BOND	Coltène® Whaledent	Säureapplikation Schmelz 30 s, Dentin 15 s, 20 s abspülen, kurz trocknen, Adhäsiv 20 s einreiben, kurz verblasen, 30 s lichthärten
OptiBond® Solo™ Plus	Kerr	Säureapplikation 15 s, abspülen, trocknen, 15 s einreiben, sanft verblasen, 20 s lichthärten (Halogen oder LED)
Prime&Bond® NT	Dentsply	Säureapplikation Schmelz 30 s, Dentin 15 s, abspülen, trocknen, Adhäsiv 20 s einreiben, 5 s sanft verblasen, 10 s lichthärten
Solobond M	VOCO GmbH	Säureapplikation Schmelz 30 s, Dentin 15 s, 20 s abspülen, trocknen, Adhäsiv 30 s einreiben, sanft verblasen, 20 s lichthärten
TECO®	DMG GmbH	Säureapplikation, 15 s abspülen, trocknen, Adhäsiv 20 s einreiben, 5 s sanft verblasen, 10 s lichthärten (Halogen / LED)
XP – Bond	Dentsply	Säureapplikation Schmelz 30 s, Dentin 15 s, abspülen, trocknen, Adhäsiv 20 s einreiben, 5 s sanft verblasen, 10 s lichthärten
<b>K+P+A<sup>2</sup></b>		
Adper Scotchbond MP	3M Espe	15 s Säureanwendung, 15 s mit Wasser abspülen, 2 s trocknen blasen, Primer auftragen, 5 s trocknen, Adhäsiv auftragen, 10 s lichthärten (Halogen oder LED)
Ecusit® – Primer Mono	DMG GmbH	Säureanwendung, Primer A+B 5 s mischen, 60 s einmassieren, stark verblasen, Bond 20 s einmassieren, verblasen, 20 s härten
GLUMA® Solid Bond	Heraeus Kulzer	Säure 15-30 s einwirken, 15 s abspülen, trocknen, Primer 30 s einmassieren, sanft verblasen, Bond auftragen, sanft verblasen, 40 s lichthärten
OptiBond® FL	Kerr	Säure 15 s einwirken lassen, 15 s abspülen, Primer 15 s einmassieren, 5 s sanft verblasen, Adhäsiv auftragen, verblasen, 20 s lichthärten (Halogen oder LED)
paama 2	SDI Southern Dental	20 s mit Säure ätzen, abspülen, trocknen, Primer auftragen, sanft verblasen, Adhäsiv auftragen, 20 s lichthärten
Solobond Plus	VOCO GmbH	20-30 s Säureanwendung, mit Wasser abspülen, trocknen, Primer 30 s einmassieren, verblasen, Adhäsiv 15 s einmassieren, sanft verblasen, 20 s lichthärten (Halogen / LED)
Syntac Classic	Ivoclar Vivadent	20-30 s Säureanwendung, mit Wasser abspülen, trocknen, Primer 15 s einmassieren, verblasen, Adhäsiv 10 s einmassieren, sanft verblasen, Heliobond auftragen, verblasen, Überschüsse entfernen, 10 s lichthärten

K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

**Tabelle 3:** Antibakteriell wirkende Adhäsiva und ihre Inhaltsstoffe (\* mit Langzeitwirkung)

Produkt	Hersteller	Inhaltsstoffe
<b>Selbststättende Adhäsiva</b>		
<b>KPA<sup>1</sup></b>		
Adper Prompt L-Pop™	3M Espe	Primer: HEMA, Wasser, modifizierte Polyacrylsäure Bond: Bis-GMA, metacrylierte Phosphorsäureester
artCem® One*	Merz Dental	modifizierte Methacrylate, Phosphorsäureester, Katalysatoren
G-BOND™	GC EUROPE N.V.	keine Angaben
go	SDI Southern Dental	Phosphorsäureestermonomer, Siliciumoxid Füllstoff, Monomethacrylatmonomer, Dimethacrylatmonomer, Wasser, Aceton, Stabilisatoren, Photoinitiatoren, Natriumfluorid
iBond*	Heraeus Kulzer	UDMA, 4-META, Aceton, Wasser, Glutardialdehyd Photoinitiatoren
Xeno® III*	Dentsply	Primer: HEMA, Wasser, Ethanol, hochdisperses Siliziumdioxid, Butylhydroxytoluol, Adhäsiv: UDMA, Pyro-EMA (Pyrophosphat-ethylmethacrylat und PEM-F (Penta-ethyl-methacrylat-fluorid), Campherchinon, Butylhydroxytoluol
<b>KP+A<sup>2</sup></b>		
CLEARFIL® LINER BOND 2V	Kuraray Europe	Primer A/B: MDP-Haftmonomer, HEMA Bond A/B: MDP, Bis-GMA, HEMA, vorsilanisierter Silikatfüller, Benzoylperoxid, dl-Campherchinon
CLEARFIL PROTECT BOND*		Primer: MDP, MDPB, HEMA, Wasser, hydrophile Dimethacrylate Bond: MDP, Bis-GMA, HEMA, hydrophile Dimethacrylate, Campherchinon, N,N-Diethanol-p-Toluidin, Siliziumfüllpartikel und Fluoridionen
CLEARFIL™ SE BOND		Primer: MDP-Haftmonomer, HEMA, Campherchinon, hydrophiles Dimethacrylat, N,N-Diethanol-p-Toluidin, Wasser Bond: MDP, Bis-GMA, HEMA, Siliziumoxid, Campherchinon, hydrophiles Dimethacrylat, N,N-Diethanol-p-Toluidin
Futurabond DC	VOCO GmbH	Bis-GMA, Hydroxyethylmethacrylat, Butylhydroxytoluol, Ethanol, org. Säuren, Fluoride
One Coat Self – Etching*	Coltène® Whaledent	Primer: Wasser, Acrylamidsulfonsäure, Hydroxyethylmethacrylat, Glycerin mono- und dimethacrylat, Polyalkenoat Bond: Hydroxyethylmethacrylat, Glycerin mono- und dimethacrylat, Polyalkenoat, UDMA
Resulcin® AquaPrime+ MonoBond	Merz Dental	Primer: Phosphorsäureester, HEMA Bond: Bis-GMA, Triethylenglycoldimethacrylat, Polymethacrylologomaleinsäure

Fortsetzung siehe nächste Seite

KPA Konditionierer, Primer, Adhäsiv; KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv

<sup>1</sup>Einflaschensystem, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

**Fortsetzung Tabelle 3:** Antibakteriell wirkende Adhäsiva und ihre Inhaltsstoffe  
 (\* mit Langzeitwirkung)

Produkt	Hersteller	Inhaltsstoffe
<b>Totallätzende Adhäsiva</b>		
<b>K+PA<sup>1</sup></b>		
Admira Bond	VOCO GmbH	Ormocere, Bis-GMA, HEMA, Butylhydroxytoluol, Aceton, organ. Säuren
CLEARFIL <sup>®</sup> NEW BOND*	Kuraray Europe	Bond: patentiertes Kuraray Haftmonomer MDP, HEMA, Bis-GMA Conservans: Natrium-Benzyl-Sulfonat, Ethylalkohol
CLEARFIL <sup>®</sup> PHOTO BOND*		Bond: patentiertes Kuraray Haftmonomer MDP, HEMA, Bis-GMA Conservans: Natrium-Benzyl-Sulfonat, Ethylalkohol
Cumdente Adhesive	Cumdente	Adhäsiv: Methacrylate, Ethanol, Wasser, modifizierte Polycarbonsäuren, Initiatoren
GLUMA Comfort Bond*	Heraeus Kulzer GmbH	4-META, HEMA, UDMA, Maleinsäure, Wasser, Polycarbonsäureester Ethanol
OptiBond <sup>®</sup> Solo™ Plus	Kerr	Bis-GMA, HEMA, gefüllt mit 15% 0,4 Mikron Bariumglas, Ethanol
<b>K+P+A<sup>2</sup></b>		
Ecusit <sup>®</sup> -Primer Mono	DMG GmbH	Primer A+B: Wasser, Maleinsäure, Natriumfluorid, polymethacrylierte Polycarbonsäure, Katalysator Bond: Bis-GMA, polymethacrylierte Oligomaleinsäure, Katalysator, Stabilisator
GLUMA <sup>®</sup> Solid Bond*	Heraeus Kulzer	Primer: HEMA, TEGDMA, Maleinsäure Adhäsiv: Bis-GMA, TEGDMA
Syntac Classic*	Ivoclar Vivadent	Primer: Maleinsäure, TEGDMA, Wasser, Dimethylketon Adhäsiv: PEGDMA (Polyethylenglycoldimethacrylat, Maleinsäure, Wasser, Glutaraldehyd) Heliobond: Bis-GMA, TEGDMA

K+PA Konditionierer und Primer, Adhäsiv; K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv

<sup>1</sup>Einflaschensystem, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

Quelle: Herstellerangaben



**Tabelle 4:** In den Dentin-Agar-Hemmhoftest einbezogene Adhäsiva ohne antibakterielle Wirkung und ihre Inhaltsstoffe

Produkt	Hersteller	Inhaltsstoffe
<b>Selbstätzende Adhäsiva</b>		
<b>KPA<sup>1</sup></b>		
OptiBond® All In One	Kerr	keine Angaben
<b>KP+A<sup>2</sup></b>		
AdheSE®	Ivoclar Vivodent	Primer: Phosphonsäureacrylat, Dimethacrylat in wässriger Lösung Adhäsiv: HEMA, Dimethacrylate, Siliziumoxid
A.R.T. BOND	Coltène® Whaledent	Primer A: Maleinsäure, Natriumfluorid, Wasser Primer B: HEMA, Hydroxypropylmethacrylat, Polyalkenoat, Wasser Bond: Bis-GMA, TEGDMA, Polyalkenoat
Contax®	DMG GmbH	Primer: Wasser, Maleinsäure, Natriumfluorid Bond: Hydrophile und saure Bis-GMA-basierte Harzmatrix, Katalysator, Additive
Futurabond NR	VOCO GmbH	Bis-GMA, Hydroxyethylmethacrylat, org. Säuren, Butylhydroxytoluol, Fluorid
frog	SDI Southern Dental	Primer: Phosphatsäuremonomer, HEMA, Wasser, Dimethacrylat Monomer, Photoinitiatoren, Stabilisatoren Adhäsiv: zusätzlich Füllstoff
<b>Totalätzende Adhäsiva</b>		
<b>K+PA<sup>1</sup></b>		
Adper Scotchbond 1 XT	3M Espe	HEMA, 10 % kolloidaler Füllstoff
Excite	Ivoclar Vivadent	HEMA, Phosphorsäureacrylat, Dimethacrylate, hochdisperses Siliziumoxid, Ethanol, Katalysator
ONE COAT BOND	Coltène® Whaledent	HEMA, Hydroxypropylmethacrylat, UDMA, Glycerindimethacrylat, Polyalkenoat methacryliert, amorphe Kieselsäure
Prime&Bond® NT	Dentsply	Adhäsiv: Aceton, Di-/Trimethacrylat-Harze, PENTA Funktionalisiertes amorphes Siliciumdioxid, Campherchinon, Cetylaminhydrofluorid
Solobond M	VOCO GmbH	Bis-GMA, HEMA, Butylhydroxytoluol, Aceton, organ. Säuren
TECO®	DMG GmbH	keine Angaben
XP- Bond	Dentsply	Carbonsäure modifiziertes Dimethacrylat, UDMA, TEGDMA, HEMA, Phosphorsäure- modifiziertes Acrylatharz, Stabilisator, Campherchinon, t-Butanol, Ethyl-4-Dimethylaminobenzoat, amorphes Siliciumoxid

Fortsetzung siehe nächste Seite

KPA Konditionierer, Primer, Adhäsiv; KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv

<sup>1</sup>Einflaschensystem, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

**Fortsetzung Tabelle 4:** In den Dentin-Agar-Hemmhoftest einbezogene Adhäsiva ohne antibakterielle Wirkung und ihre Inhaltsstoffe

Produkt	Hersteller	Inhaltsstoffe
<b>K+P+A<sup>2</sup></b>		
Adper Scotchbond MP	3M Espe	Primer: HEMA, modifizierte Polyacrylsäure, Wasser Adhäsiv: Bis-GMA, HEMA
OptiBond <sup>®</sup> FL	Kerr	48% mit 0,6-µm-Barium-Glas-Partikeln gefüllt
Paama2	SDI Southern Dental	Primer: aromat. Dimethacrylate, Aceton, Wasser Adhäsiv: Dimethacrylate
Solobond Plus	VOCO GmbH	Bis-GMA, HEMA, TEGDMA, Butylhydroxytoluol, Aceton, Natriumfluorid

K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem  
Quelle: Herstellerangaben

**Tabelle 5:** Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von **Streptokokken** (*S. mutans* NCTC 10449, *S. sobrinus* OMZ 176, *S. sanguinis* OMZ 9S) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter **selbstätzender Adhäsiva**

Selbstätzende Adhäsiva	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-abweichung
<b>Gruppe 1: KPA<sup>1</sup></b>				
Adper Prompt L-Pop	14	15	14,7	0,6
artCem One	15	17	16,3	1,2
G-BOND	11	16	12,7	2,9
go	11	14	11,7	1,8
iBond	16	19	17,3	1,5
OptiBond All in One	11	11	10,8	0,0
Xeno III	11	16	12,7	2,9
<b>Gruppe 2: KP + A<sup>2</sup></b>				
AdheSE	11	11	10,8	0,0
A.R.T. BOND	11	11	10,8	0,0
CLEARFIL				
PROTECT BOND	22	25	23,7	1,5
CLEARFIL				
SE BOND	11	17	13,6	3,1
Contax	11	11	10,8	0,0
Futurabond DC	11	14	12,6	1,6
Futurabond NR	11	11	10,8	0,0
frog	11	11	10,8	0,0
One Coat				
Self-Etching Bond	11	11	10,8	0,0
Resulcin AquaPrime				
+MonoBond	11	13	11,5	1,2
CLEARFIL				
LINER BOND 2V*	11	15	13,3	2,2
CLEARFIL				
LINER BOND 2V**	11	11	10,8	0,0

KPA Konditionierer, Primer, Adhäsiv, <sup>1</sup>Einflaschensystem

KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

\* lichthärtend, \*\* dualhärtend

**Tabelle 6:** Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von **Laktobazillen** (*L. casei* IMET 10692, *L. coryniformis* DSMZ 20001, *L. plantarum* DSMZ 2601) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter **selbstätzender Adhäsiva**

Selbstätzende Adhäsiva	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard-abweichung
<b>Gruppe 1: KPA<sup>1</sup></b>				
Adper Prompt L-Pop	11	11	10,8	0,0
artCem One	14	16	15,0	1,0
G-BOND	11	16	14,0	2,6
go	11	11	10,8	0,0
iBond	14	19	16,0	2,6
OptiBond All in One	11	11	10,8	0,0
Xeno III	11	18	15,3	3,8
<b>Gruppe 2: KP + A<sup>2</sup></b>				
AdheSE	11	11	10,8	0,0
A.R.T. BOND	11	11	10,8	0,0
CLEARFIL				
PROTECT BOND	13	19	15,7	3,1
CLEARFIL				
SE BOND	11	20	15,6	4,6
Contax	11	11	10,8	0,0
Futurabond NR	11	11	10,8	0,0
Futurabond DC	11	11	10,8	0,0
frog	11	11	10,8	0,0
One Coat				
Self-Etching Bond	11	19	13,5	4,7
Resulcin AquaPrime				
+ MonoBond	11	13	11,5	1,3
CLEARFIL				
LINER BOND 2V*	16	17	16,7	0,6
CLEARFIL				
LINER BOND 2V**	11	11	10,8	0,0

KPA Konditionierer, Primer, Adhäsiv, <sup>1</sup>Einflaschensystem

KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

\* lichthärtend, \*\* dualhärtend

**Tabelle 7** Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von **Aktinomyzeten** (*A. odontolyticus* R22/580, *A. israelii* IMET 10972, *A. naeslundii* ATCC 2744) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter **selbstätzender Adhäsiva**

Selbstätzende Adhäsiva	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>Gruppe 1: KPA<sup>1</sup></b>				
Adper Prompt L-Pop	11	11	10,8	0,0
artcem One	16	17	16,3	0,6
G-BONG	11	11	10,8	0,0
go	11	20	13,9	5,3
iBond	16	20	17,7	2,1
OptiBond All in One	11	11	10,8	0,0
Xeno III	11	15	13,0	2,0
<b>Gruppe 2: KP + A<sup>2</sup></b>				
AdheSE	11	11	10,8	0,0
A.R.T. BOND	11	11	10,8	0,0
CLEARFIL				
PROTECT BOND	25	31	27,7	3,1
CLEARFIL				
SE BOND	11	11	10,8	0,0
Contax	11	11	10,8	0,0
Futurabond DC	11	17	13,9	3,1
Futurabond NR	11	11	10,8	0,0
frog	11	11	10,8	0,0
One Coat				
Self-Etching Bond	11	16	12,5	3,0
Resulcin AquaPrime				
+ MonoBond	11	16	13,3	2,6
CLEARFIL				
LINER BOND 2V*	11	20	16,3	4,8
CLEARFIL				
LINER BOND 2V**	11	11	10,8	0,0

KPA Konditionierer, Primer, Adhäsiv, <sup>1</sup>Einflaschensystem

KP+A Konditionierer, Primer und Adhäsiv, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

\* lichthärtend, \*\* dualhärtend

**Tabelle 8:** Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von **Streptokokken** (*S. mutans* NCTC 10449, *S. sobrinus* OMZ 176, *S. sanguinis* OMZ 9S) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter **totalätzender Adhäsiva**

<b>Totalätzende Adhäsiva</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standard-abweichung</b>
<b>Gruppe 1: K + PA<sup>1</sup></b>				
Adper				
Scotchbond 1XT	11	11	10,8	0,0
Admira Bond	11	25	15,5	8,2
Excite	11	11	10,8	0,0
GLUMA				
Comfort Bond	11	11	10,8	0,0
ONE COAT BOND	11	11	10,8	0,0
OptiBond Solo Plus	11	11	10,8	0,0
Prime&Bond NT	11	11	10,8	0,0
Solobond M	11	11	10,8	0,0
TECO	11	11	10,8	0,0
CLEARFIL				
NEW BOND	11	11	10,8	0,0
CLEARFIL				
PHOTO BOND	11	22	15,9	5,7
Cumdente Adhesive	13	22	18,3	4,7
XP-Bond	11	11	10,8	0,0
<b>Gruppe 2: K + P + A<sup>2</sup></b>				
Adper				
Scotchbond MP	11	11	10,8	0,0
Ecusit-Primer Mono	11	18	13,3	4,0
GLUMA Solid Bond	11	11	10,8	0,0
OptiBond FL	11	11	10,8	0,0
paama 2	11	11	10,8	0,0
Solobond Plus	11	11	10,8	0,0
Syntac Classic	13	15	14,0	1,0

K+PA Konditionierer und Primer, Adhäsiv, <sup>1</sup>Einflaschensystem

K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

**Tabelle 9:** Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von **Laktobazillen** (*L. casei* IMET 10692, *L. coryniformis* DSMZ 20001, *L. plantarum* DSMZ 2601) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter **totalätzender Adhäsiva**

<b>Totalätzende Adhäsiva</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
<b>Gruppe 1: K + PA<sup>1</sup></b>				
Adper				
Scotchbond 1XT	11	11	10,8	0,0
Admira Bond	11	20	13,9	5,3
Excite	11	11	10,8	0,0
GLUMA				
Comfort Bond	11	16	12,5	3,0
ONE COAT BOND	11	11	10,8	0,0
OptiBond Solo Plus	11	14	12,0	1,7
Prime&Bond NT	11	11	10,8	0,0
Solobond M	11	11	10,8	0,0
TECO	11	11	10,8	0,0
CLEARFIL				
NEW BOND	11	21	14,2	3,0
CLEARFIL				
PHOTO BOND	11	16	12,5	3,0
Cumdente Adhesive	11	19	14,6	4,1
XP-Bond	11	11	10,8	0,0
<b>Gruppe 2: K + P + A<sup>2</sup></b>				
Adper				
Scotchbond MP	11	11	10,8	0,0
Ecusit-Primer Mono	11	11	10,8	0,0
GLUMA Solid Bond	11	11	10,8	0,0
OptiBond FL	11	11	10,8	0,0
paama 2	11	11	10,8	0,0
Solobond Plus	11	11	10,8	0,0
Syntac Classic	11	11	10,8	0,0

K+PA Konditionierer und Primer, Adhäsiv, <sup>1</sup>Einflaschensystem

K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem

**Tabelle 10:** Mittlere Hemmhofdurchmesser (in mm) von **Aktinomyzeten** (*A. odontolyticus* R22/580, *A. israelii* IMET 10972, *A. naeslundii* ATCC 2744) im Dentin-Agar-Hemmhoftest ausgewählter **totalätzender Adhäsiva**

<b>Totalätzende Adhäsiva</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standard-abweichung</b>
<b>Gruppe 1: K + PA<sup>1</sup></b>				
Adper				
Scotchbond 1XT	11	11	10,8	0,0
Admira Bond	11	20	13,9	5,3
Excite	11	11	10,8	0,0
GLUMA				
Comfort Bond	11	18	14,9	3,7
ONE COAT BOND	11	11	10,8	0,0
OptiBond Solo Plus	11	11	10,8	0,0
Prime&Bond NT	11	11	10,8	0,0
Solobond M	11	11	10,8	0,0
TECO	11	11	10,8	0,0
CLEARFIL				
NEW BOND	11	20	14,6	4,8
CLEARFIL				
PHOTO BOND	11	22	14,5	6,5
Cumdense Adhesive	17	22	19,7	2,5
XP-Bond	11	11	10,8	0,0
<b>Gruppe 2: K + P + A<sup>2</sup></b>				
Adper				
Scotchbond MP	11	11	10,8	0,0
Ecusit-Primer Mono	11	11	10,8	0,0
GLUMA Solid Bond	11	20	13,9	5,3
OptiBond FL	11	11	10,8	0,0
paama 2	11	11	10,8	0,0
Solobond Plus	11	11	10,8	0,0
Syntac Classic	15	16	15,3	0,6

K+PA Konditionierer und Primer, Adhäsiv, <sup>1</sup>Einflaschensystem

K+P+A Konditionierer und Primer und Adhäsiv, <sup>2</sup>Mehrflaschensystem





*L. plantarum* DSMZ 2601



*L. casei* IMET 10692



*S. mutans* NCTC 10449



*S. sobrinus* OMZ 176



*S. sanguinis* OMZ 9S



*A. naeslundii* ATCC 27044

**Abbildung 1:** Antibakterielle Wirkung von artCem One (Merz Dental) gegenüber *L. plantarum* DSMZ 2601, *L. casei* IMET 10692, *S. mutans* NCTC 10449, *S. sobrinus* OMZ 176, *S. sanguinis* OMZ 9S und *A. naeslundii* ATCC 27044 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung

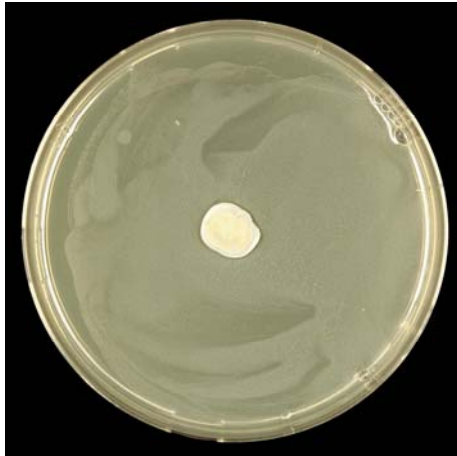


*A. israelii* IMET 10972

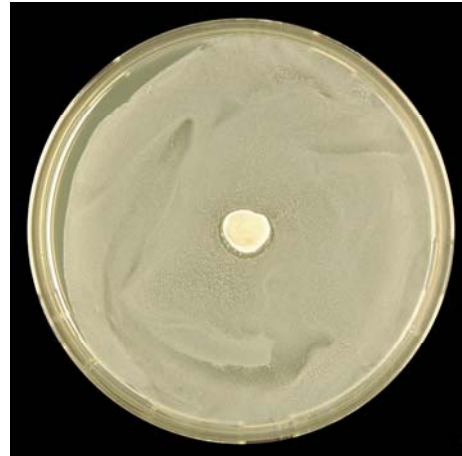


*A. odontolyticus* R22/580

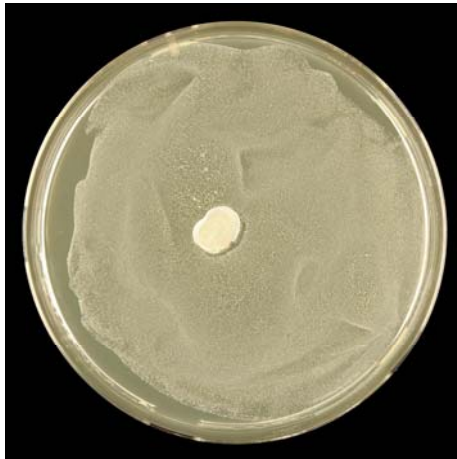
**Abbildung 1a:** Antibakterielle Wirkung von artCem One (Merz Dental) gegenüber *A. israelii* IMET 10972 und *A. odontolyticus* R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*S. sanguinis* OMZ 9S



*S. mutans* NCTC 10449



*S. sobrinus* OMZ 176

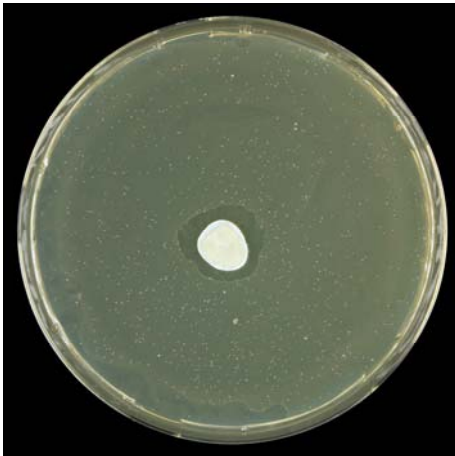
**Abbildung 2:** Antibakterielle Wirkung von Adper Prompt L-Pop (3M Espe) gegenüber *S. sanguinis* OMZ 9S, *S. mutans* NCTC 10449 und *S. sobrinus* OMZ 176 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*L. plantarum* DSMZ 2601



*L. coryniformis* DSMZ 20001



*L. casei* IMET 10692



*S. mutans* NCTC 10449



*S. sobrinus* OMZ 176

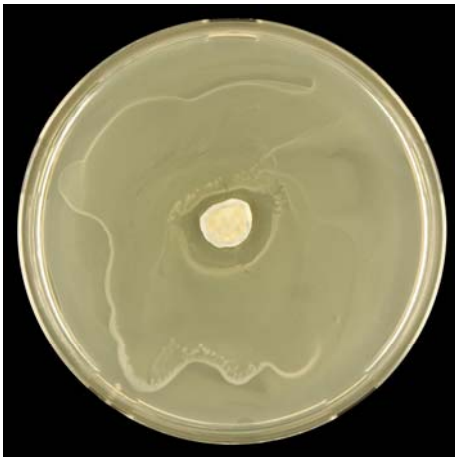
**Abbildung 3:** Antibakterielle Wirkung von G-Bond (GC EUROPE N.V.) gegenüber *L. plantarum* DSMZ 2601, *L. coryniformis* DSMZ 20001, *L. casei* IMET 10692, *S. mutans* NCTC 10449 und *S. sobrinus* OMZ 176 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*L. plantarum* DSMZ 2601



*L. casei* IMET 10692



*L. coryniformis* DSMZ 20001



*S. mutans* NCTC 10449



*S. sobrinus* OMZ 176



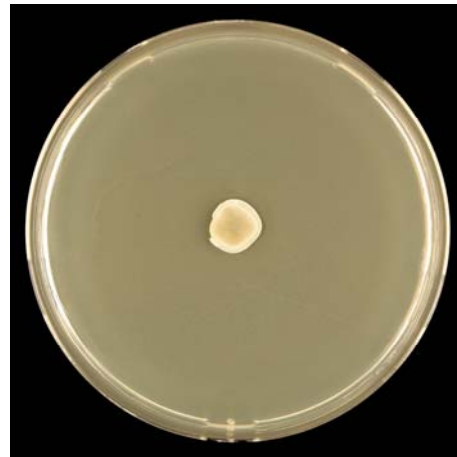
*S. sanguinis* OMZ 9S

**Abbildung 4:** Antibakterielle Wirkung von iBond (Heraeus Kulzer) gegenüber *L. plantarum* DSMZ 2601, *L. casei* IMET 10692, *L. coryniformis* DSMZ 20001, *S. mutans* NCTC 10449, *S. sobrinus* OMZ 176 und *S. sanguinis* OMZ 9S im Dentin-Agar-Hemmhofttest nach 48-stündiger Bebrütung





*A. naeslundii* ATCC 27044



*A. odontolyticus* R22/580



*A. israelii* IMET 10972

**Abbildung 4a:** Antibakterielle Wirkung von iBond (Heraeus Kulzer) gegenüber *A. naeslundii* ATCC 27044, *A. israelii* IMET 10972 und *A. odontolyticus* R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*L. plantarum* DSMZ 2601



*L. coryniformis* DSMZ 20001



*S. mutans* NCTC 10449



*A. naeslundii* ATCC 27044



*A. odontolyticus* R22/580

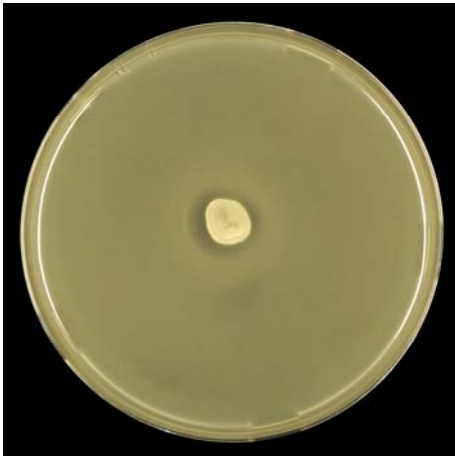
**Abbildung 5:** Antibakterielle Wirkung von Xeno III (Dentsply) gegenüber *L. plantarum* DSMZ 2601, *L. coryniformis* DSMZ 20001, *S. mutans* NCTC 10449, *A. naeslundii* ATCC 27044 und *A. odontolyticus* R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



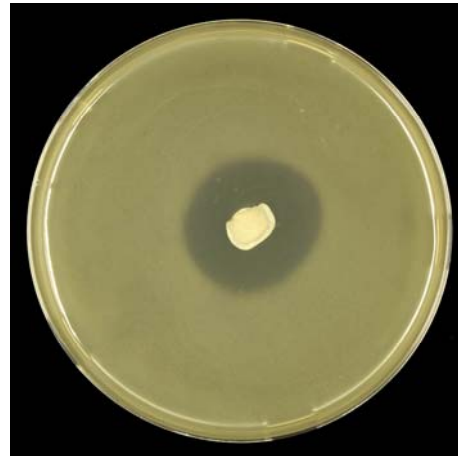
*L. plantarum* DSMZ 2601



*L. coryniformis* DSMZ 20001



*L. casei* IMET 10692



*A. naeslundii* ACTT 27044



*A. israelii* IMET 10972



*A. odontolyticus* R22/580

**Abbildung 6:** Antibakterielle Wirkung von Clearfil Protect Bond (Kuraray Europe) gegenüber *L. plantarum* DSMZ 2601, *L. coryniformis* DSMZ 20001, *L. casei* IMET 10692, *A. naeslundii* ATCC 27044, *A. israelii* IMET 10972 und *A. odontolyticus* R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung

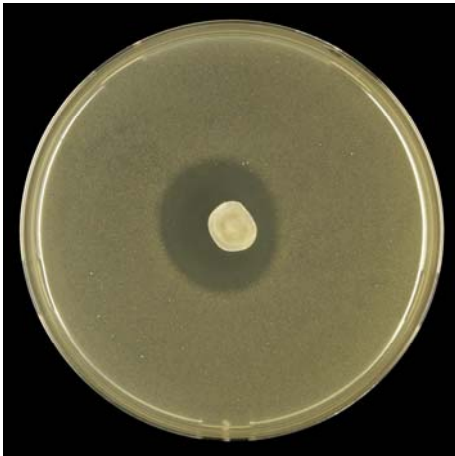




*S. sanguinis* OMZ 9S



*S. sobrinus* OMZ 176



*S. mutans* NCTC 10449

**Abbildung 6a:** Antibakterielle Wirkung von Clearfil Protect Bond (Kuraray Europe) gegenüber *S. sanguinis* OMZ 9S, *S. sobrinus* OMZ 176 und *S. mutans* NCTC 10449 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*L. coryniformis* DSMZ 20001



*L. plantarum* DSMZ 2601



*S. sanguinis* OMZ 9S



*S. sobrinus* OMZ 176

**Abbildung 7:** Antibakterielle Wirkung von Clearfil SE Bond (Kuraray Europe) gegenüber *L. coryniformis* DSMZ 20001, *L. plantarum* DSMZ 2601, *S. sanguinis* OMZ 9S und *S. sobrinus* OMZ 176 im Dentin-Agar-Hemmhofstest nach 48-stündiger Bebrütung



*A. naeslundii* ATCC 27044



*S. mutans* NCTC 10449

**Abbildung 8:** Antibakterielle Wirkung von go (SDI Southern Dental) gegenüber *A. naeslundii* ATCC 27044 und *S. mutans* NCTC 10449 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*L. coryniformis* DSMZ 20001



*A. naeslundii* ATCC 27044

**Abbildung 9:** Antibakterielle Wirkung von One Coat Self-Etching (Colténe Whaledent) gegenüber *L. coryniformis* DSMZ 20001 und *A. naeslundii* ATCC 27044 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*S. mutans* NCTC 10449



*L. coryniformis* DSMZ 20001



*A. naeslundii* ATCC 27044



*A. israelii* IMET 10972

**Abbildung 10:** Antibakterielle Wirkung von Resulcin AquaPrime + MonoBond (Merz Dental) gegenüber *S. mutans* NCTC 10449, *L. coryniformis* DSMZ 20001, *A. naeslundii* ATCC 27044 und *A. israelii* IMET 10972 im Dentin-Agar-Hemmhofttest nach 48-stündiger Bebrütung



*L. plantarum* DSMZ 2601



*L. coryniformis* DSMZ 20001



*L. casei* IMET 10692



*S. mutans* NCTC 10449



*S. sobrinus* OMZ 176

**Abbildung 11:** Antibakterielle Wirkung von Clearfil Liner Bond 2V (Kuraray Europe) gegenüber *L. plantarum* DSMZ 2601, *L. coryniformis* DSMZ 20001, *L. casei* IMET 10692, *S. mutans* NCTC 10449 und *S. sobrinus* OMZ 176 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung





*A. naeslundii* ATCC 27044



*A. israelii* IMET 10972

**Abbildung 11a:** Antibakterielle Wirkung von Clearfil Liner Bond 2V (Kuraray Europe) gegenüber *A. naeslundii* ATCC 27044 und *A. israelii* IMET 10972 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*L. casei* IMET 10692

**Abbildung 12:** Antibakterielle Wirkung von OptiBond Solo Plus (Kerr) gegenüber *L. casei* IMET 10692 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*A. naeslundii* ATCC 27044



*L. casei* IMET 10692



*S. sanguinis* OMZ 9S

**Abbildung 13:** Antibakterielle Wirkung von Admira Bond (VOCO GmbH) gegenüber *A. naeslundii* ATCC 27044, *L. casei* IMET 10692 und *S. sanguinis* OMZ 9S im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*L. casei* IMET 10692



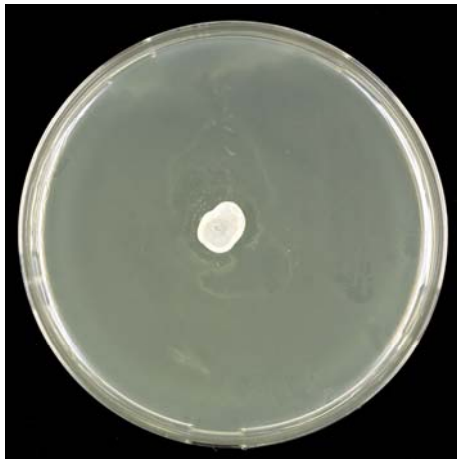
*A. naeslundii* ATCC 27044



*A. odontolyticus* R22/580

**Abbildung 14:** Antibakterielle Wirkung von Clearfil New Bond (Kuraray Europe) gegenüber *L. casei* IMET 10692, *A. naeslundii* ATCC 27044 und *A. odontolyticus* R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung





*L. casei* IMET 10692



*S. sobrinus* OMZ 176



*A. naeslundii* ATCC 27044

**Abbildung 15:** Antibakterielle Wirkung von Clearfil Photo Bond (Kuraray Europe) gegenüber *L. casei* IMET 10692, *S. sobrinus* OMZ 176 und *A. naeslundii* ATCC 27044 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



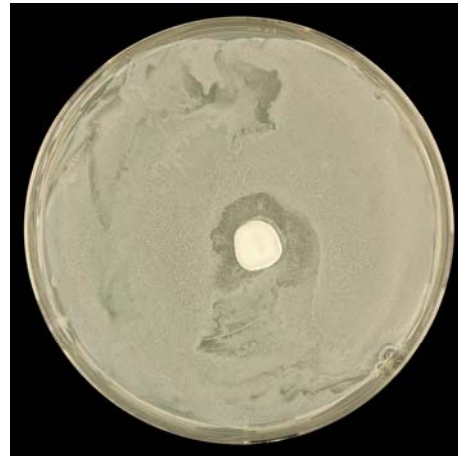
*A. odontolyticus* R22/580



*L. coryniformis* DSMZ 20001



*L. casei* IMET 10692



*S. mutans* NCTC 10449

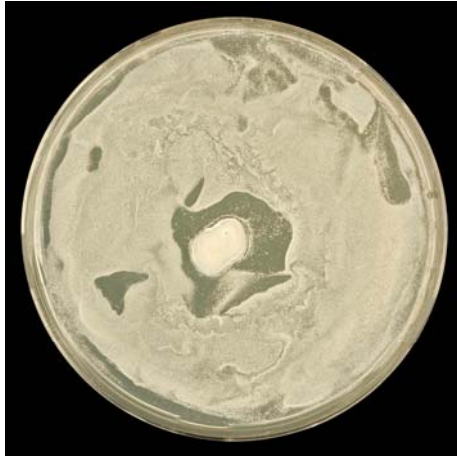


*S. sobrinus* OMZ 176



*S. sanguinis* OMZ 9S

**Abbildung 16:** Antibakterielle Wirkung von Cumdente Adhesive (Cumdente) gegenüber *A. odontolyticus* R22/580, *L. coryniformis* DSMZ 20001, *L. casei* IMET 10692, *S. mutans* NCTC 10449, *S. sobrinus* OMZ 176 und *S. sanguinis* OMZ 9S im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*A. naeslundii* ATCC 27044



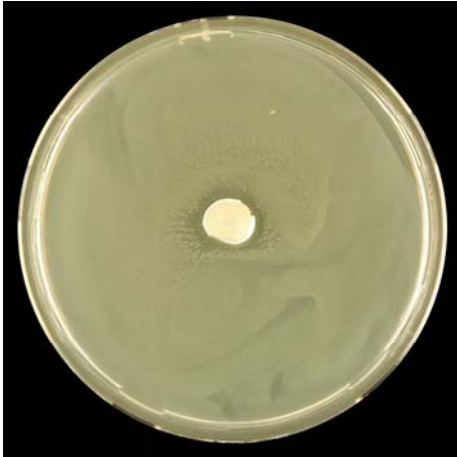
*A. israelii* IMET 10972

**Abbildung 16a:** Antibakterielle Wirkung von Cumdente Adhesive (Cumdente) gegenüber *A. naeslundii* ATCC 27044 und *A. israelii* IMET 10972 im Dentin-Agar-Hemmhofttest nach 48-stündiger Bebrütung



*A. odontolyticus* R22/580

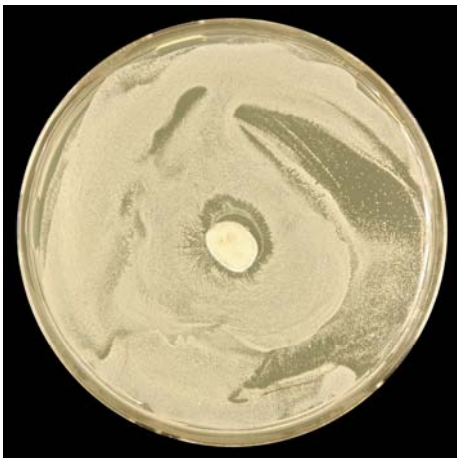
**Abbildung 17:** Antibakterielle Wirkung von Gluma Solid Bond (Heraeus Kulzer) gegenüber *A. odontolyticus* R22/580 im Dentin-Agar-Hemmhofttest nach 48-stündiger Bebrütung



*L. casei* IMET 10692



*A. odontolyticus* R22/580



*A. naeslundii* ATCC 27044

**Abbildung 18:** Antibakterielle Wirkung von Gluma Comfort Bond (Heraeus Kulzer) gegenüber *L. casei* IMET 10692, *A. odontolyticus* R22/580 und *A. naeslundii* ATCC 27044 im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



*S. sanguinis* OMZ 9S

**Abbildung 19:** Antibakterielle Wirkung von Ecusit-Primer Mono (DMG GmbH) gegenüber *S. sanguinis* OMZ 9S im Dentin-Agar-Hemmhoftest nach 48-stündiger Bebrütung



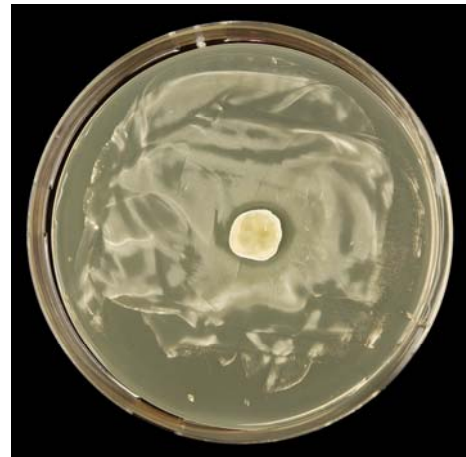
*S. sanguinis* OMZ 9S



*S. sobrinus* OMZ176



*S. mutans* NCTC 10449



*A. israelii* IMET10972



*A. odontolyticus* R22/580



*A. naeslundii* ATCC 27044

**Abbildung 9** Antibakterielle Wirkung von Syntac Classic (Ivoclar Vivadent) gegenüber *S. sanguinis* OMZ 9S, *S. sobrinus* OMZ 176, *S. mutans* NCTC 10449, *A. israelii* IMET 10972, *A. odontolyticus* R22/580 und *A. naeslundii* ATCC 27044 im Dentin-Agar-Hemmhofttest nach 48-stündiger Bebrütung



---

## **Danksagung**

Mein Dank gilt Frau Professor Dr. rer. nat. habil. Susanne Kneist, Biologisches Labor am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde am Universitätsklinikum Jena, und Herrn Professor Dr. med. dent. Harald Küpper, Direktor der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde am Universitätsklinikum Jena, für die Vergabe des Themas, ihr Interesse am Gelingen der Arbeit, und Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung der Ergebnisse sowie für die wissenschaftlichen Diskussionen bei der Niederschrift der Arbeit.

Frau Katrin von Brandenstein und Frau Regina Mäuer, Assistentinnen des Biologischen Labors, danke ich für die Einarbeitung in die mikrobiologischen Arbeitstechniken und ihre Unterstützung und Beratung während der experimentellen Arbeitsphase.

Frau Dipl.-Chemikerin Dr. Angelika Rzanny und Herrn Dipl.-Ingenieur Gerhard Raser, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, danke ich für die wertvollen Hinweise, durch die die Arbeit wesentlich gefördert wurde.

Herrn Michael Szabó Institut Anatomie I und Frau Dipl.-Ing. Renate Kaiser, Elektronenmikroskopisches Zentrum, danke ich für die Unterstützung bei der Fotodokumentation.

Herrn Dr. Wolfgang Reuter, Herrn Dr. Jens Wurdinger sowie Herrn Dr. Popp, danke ich für die wertvolle Unterstützung bei der Bereitstellung des Untersuchungsgutes.

Weiterhin bedanke ich mich bei allen in der Arbeit genannten Dentalfirmen, die durch ihre Bereitstellung der Dentinadhäsivsysteme zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

---

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Frau Prof. Dr. rer. nat. habil. Susanne Kneist und die in der Danksagung genannten Personen,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, den 1.06.2009

Friederike Wachall

**Lebenslauf*****Persönliche Daten***

Name: Friederike Wachall, geb. Link  
Geburtsdatum/ort: 27. 07. 1983 in Ilmenau  
Familienstand: verheiratet  
Wohnort: Lutherstraße 22, 07743 Jena

***Schulbildung***

09/1990 – 08/1994 Staatliche Grundschule Langewiesen  
09/1994 – 06/2002 Staatl. Gymnasium „Am Lindenberg“, Ilmenau  
11.06.2002 Abitur am Staatl. Gymnasium „Am Lindenberg“, Ilmenau

***Hochschulausbildung***

10/2002 – 01/2008 Zahnmedizinstudium an der Friedrich-Schiller-Universität in Jena  
02/2004 Zahnärztliche Vorprüfung  
seit 07/2006 Promotion zur Thematik „In-vitro-Studie zur antibakteriellen Wirkung von Adhäsiva im Dentin-Agar-Hemmhoftest“  
18.12.2007 Zahnärztliche Prüfung mit dem Gesamtergebnis „sehr gut“  
29.01.2008 Approbation als Zahnärztin

***Vorträge***

01/2007 „Zur antibakteriellen Wirkung von Adhäsiva im Dentin-Agar-Hemmhoftest.“ Arbeitsgemeinschaft für Grundlagenforschung, Mainz  
10/2008 „Antibakterielle Wirkung von Adhäsiva im Dentin-Agar-Hemmhoftest.“ 8. Hesse-Symposium, Leipzig

***Berufstätigkeit***

03/2008 – 09/2008 Assistenz Zahnärztin in der Zahnarztpraxis Dr. med. dent. S. Paschka in Jena  
seit 11/2008 Assistenz Zahnärztin in der Zahnarztpraxis Dr. med. dent. M. Häselbarth in Jena

Jena, den 1.06.2009 Friederike Wachall